Conf. dr. ing. Emil CAZACU

Departamentul de Electrotehnică
Facultatea de Inginerie Electrică
Universitatea Politehnica Bucureşti

SISTEME INFORMATICE DE GESTIUNE A INSTALAŢIILOR ELECTRICE

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

NOTE DE CURS, PENTRU UZUL MASTERANZILOR
FACULTĂȚII DE INGINERIE ELECTRICĂ, ANUL I,

programul de studii informatică aplicată în ingineria electrică (IAIE)

2013

Capitol nr. 1

Elemente de proiectare şi gestiune informatizată a instalaţiilor electrice de joasă tensiune - aspecte generale

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

1. Subiect:

Conținutul acestui material abordează aspectele teoretice şi practice ale gestiunii informatizate a instalațiilor electrice de joasă tensiune.

2. Obiective:

Obiectivele urmărite de acest capitol vizează însuşirea de către cursanți a principalelor aspecte legate de realizarea serviciului de proiectarea optimală a instalațiilor electrice industriale şi domestice precum şi gestiunea informatizată a acestora. Se urmăreşte de asemenea şi dobândirea unor abilitați specifice privind întocmirea şi analiza documentației tehnico – economice necesară elaborării informatizate a unui proiect de instalații electrice la joasă tensiune conform reglementările interne şi internaționale în domeniu.

3. Serviciului de proiectare a instalaţiilor electrice – aspecte generale

La modul cel mai general, serviciul de proiectare a unei instalații electrice constă în îmbinarea unor elemente existente, realizate anterior, cu caracteristici cunoscute, pentru realizarea unor funcții şi performanțe tehnico-economice impuse. Activitatea de proiectare are un caracter preponderent integrativ-sintetic, prin care se realizează interconectarea optimă a tuturor elementelor componente în vederea satisfacerii unor cerințelor solicitate. Aceste condiții pot fi cel mai bine satisfăcute dacă

fiecare fază a proiectării este urmărită, controlată şi verificată de sisteme informatice performante, capabile să gestioneze un număr mare de date şi parametrii specifici.

3.1 Specificul activităţilor serviciului de proiectare informatizată a instalaţiilor electrice

Activitatea de proiectare are ca specific următoarele:

a) Proiectarea unei instalații electrice au ca element de bază schemele electrice, conform cărora se realizează alimentarea şi/sau interconectarea elementelor componente ale instalației. Întocmirea şi utilizarea schemelor este determinată în primul rând, de considerente funcționale (cerințele impuse instalației, conform destinației acesteia)

b) Proiectantul unei instalații electrice alege în mod adecvat elementelor componente, pe baza unor estimări calitative şi cantitative minimale, făcând adesea apel la o informație tehnică din care se rezulte, în principal, următoarele aspecte:

- Pentru echipamente: variante constructive, principiul de funcționare, caracteristicile tehnice şi performanțele individuale, interacțiunea cu rețeaua electrică (comportarea în rețea, corelarea între caracteristicile tuturor elementelor la nivelul rețelei)
- Pentru canalele conductoare: tipuri constructive, caracteristici principale de material conductor, izolație, stabilitate la solicitări, durată de viață.

Cataloagele de produs împreună cu alte materiale informative elaborate de către producător stau la baza soluțiilor care vor fi alese.

c) Echipamentele electrice, chiar şi cele mai performante, nu reprezintă un scop în sine. Acestea sunt puse în valoare numai ca elemente componente într-o instalație electrică. Apropierea cât mai mult a echipamentelor de performanțele preconizate de proiectantul şi executantul de echipamente depind hotărâtor de modul în care proiectantul de instalații

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

electrice reuşeşte să întocmească corect schemele şi să aleagă cele mai potrivite echipamente şi canale conductoare.

d) Pentru a se putea concentra asupra obiectivelor de mai sus, mai ales în cazul instalațiilor cu rețele complexe şi cu numeroase echipamente, personalul respectiv trebuie degrevat de calculații complexe şi profunde, care pornesc de la considerarea tuturor fenomenelor care pot avea loc. Complexitatea situațiilor în care funcționează o instalație electrică, ca şi aproximarea (statistică) a solicitărilor (sarcinii) determină rezultate teoretice (cantitative) aproximative, care pot diferi substanțial de realitate. Aceasta implică verificarea experimentală pe un model fizic sau pe o instalație existentă, la verificarea pe model făcându-se în mod frecvent apel la teoria similitudinii. Rezultatul final a unei asemenea investigații este furnizat proiectantului sub cea mai simplă formă posibilă, ceea ce conduce, pe de o parte, la creşterea operativității şi la reducerea substanțială a volumului de calcul necesare a fi efectuate şi, pe de altă parte, la certitudinea că soluțiile tehnice sunt acceptabile din punct de vedere tehnico-economic.

În acest scop, la dispoziția proiectantului sunt puse materiale documentare în care pe baza unor studii şi experimentări anterioare asupra unor instalații similare, au fost stabilite soluții finale, cuprinse în tabele, relații de calcul simplificate (incluzând coeficienți prestabiliți), monograme etc. Acest mod de abordare nu este unul de natură să minimizeze nivelul ştiințific al activităților desfăşurate, ci presupune o mare capacitate de sinteză şi spirit practic, în vederea stabilirii soluțiilor realiste şi optime.

e) Există numeroase standarde şi alte materiale normative cuprinzând reguli tehnice şi legale de proiectare şi execuție menite să asigure funcționarea corectă şi realizarea scopului propus pentru instalația electrică considerată. Respectarea întocmai a normativelor este obligatorie, făcând şi obiectul aprobării proiectelor sau executării instalației.

f) Proiectarea şi executarea instalațiilor electrice se realizează numai de personal autorizat de autoritatea locală de reglementare în domeniu.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

3.2 Etapele serviciului de proiectare a unei instalaţii electrice de joasă tensiune

Serviciul de proiectare a unei instalații electrice constă în principiu în următoarele etape [Atk02, Din03] :

- Stabilirea schemelor rețelei electrice de alimentare la consumator
- Analiza sarcinilor electrice de încărcarea în timpul exploatării, a fiecărui tronson al rețelei şi stabilirea sarcinilor electrice de calcul, pe baza analizei funcționării receptoarelor alimentate
- Alegerea elementelor componente ale rețelei, pe baza sarcinilor de calcul pe fiecare tronson al rețelei
- Verificarea funcționării corecte a instalației în ansamblu privind:
  - Corelarea caracteristicilor aparatelor din întreaga rețea
  - Verificarea rețelei la căderea de tensiune
- Dimensionarea instalației de compensare a puterii reactive
- Dimensionarea instalației de limitarea a regimului deformant
- Dimensionarea instalației de protecție împotriva şocurilor electrice
- Dimensionarea instalațiilor de protecție împotriva supratensiunilor (atmosferice, de comutație, de propagare)

4. Plasarea instalaţiei electrice în cadrul sistemului electroenergetic

Prin ***instalație electrică***, la modul cel mai general, se înțelege ansamblul de echipamente electrice interconectate, situat într-un anumit spațiu, care are o funcționalitate bine determinată. Localizarea si interconectarea într-un anumit scop funcțional constituie cele două criterii inseparabile pentru delimitarea unei instalații electrice. Prin urmare aceasta are două componente de bază:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- echipamente electrice, cu o anumită destinație funcțională
- canale conductoare (linii), care servesc pentru dirijarea energiei electrice şi pentru interconectarea echipamentelor compuse din:
    - rețeaua electrică, care conține echipamentele electrice interconectate, în amonte față de ultimul receptor sau de la ultima unitate funcțională, şi care servesc pentru alimentarea cu energie electrică a receptorului sau unității respective
    - linii de interconectare a echipamentelor în cadrul schemelor de alimentare de comandă sau de automatizare
    - linii de conexiune in interiorul echipamentelor sau unităților funcționale.

Echipamentele electrice constau în: maşini electrice (generatoare si motoare), transformatoare (de putere şi de măsura), convertoare (electromecanice sau statice), aparate electrice (de comutație, de protecție, de măsura), diverse dispozitive (de semnalizare, de acționare, electromagneți), elemente de conexiune (tablouri de distribuție, doze de ramificație, prize).

Echipamentul electric cuprinde elementele sau unitățile funcționale complexe care intervin in fluxul de energie electrică: producere, transport, distribuție, stocare, conversie, măsurare si consum (utilizare) precum:

- elemente indispensabile (de bază) in lanțul de transfer (alimentare)
- elemente auxiliare (suplimentare), care asigura funcționarea corectă, la parametrii si secvențe precizate, a elementelor de baza sau/si protecția adecvata, in cazul apariției unor disfuncționalități.

Receptoarele electrice utilizează energia electrică primită (energia de alimentare) în altă formă de energie (mecanică, termică, luminoasă etc.) în scop util. Receptoarele electrice pot fi de alimentate la diverşi parametrii ai energiei electrice de alimentare. Localizarea receptoarelor este determinată de considerente tehnologice, acestea fiind plasate într-o arie vastă, în diferite

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

direcții şi la distanțe variind în limite largi față de poziția surselor de energie electrică.

Sursele de energie electrice sunt reprezentate de centralele electrice sau alte surse locale de puteri mult mai mici (fixe sau mobile).

Ansamblul instalațiilor electrice de producere, transport, distribuție şi consum de energie electrică, care au în comun un sistem continuu de producere şi consum, formează un ***sistem electroenergetic*** (SEE), reprezentat în Fig.1 legislația din domeniul [Leg07] defineşte mai complet sistemul electroenergetic ca fiind compus din ansamblul instalațiilor electroenergetice interconectate prin care se realizează producerea, transportul, conducerea operativă, distribuția, furnizarea şi utilizarea energiei electrice. Furnizarea de energie electrică fiind activitatea de comercializare a energiei electrice către clienți. Furnizorul fiind persoana juridică, titulară a unei licențe de furnizare eliberată de autoritatea națională de reglementare în domeniul energiei (ANRE).

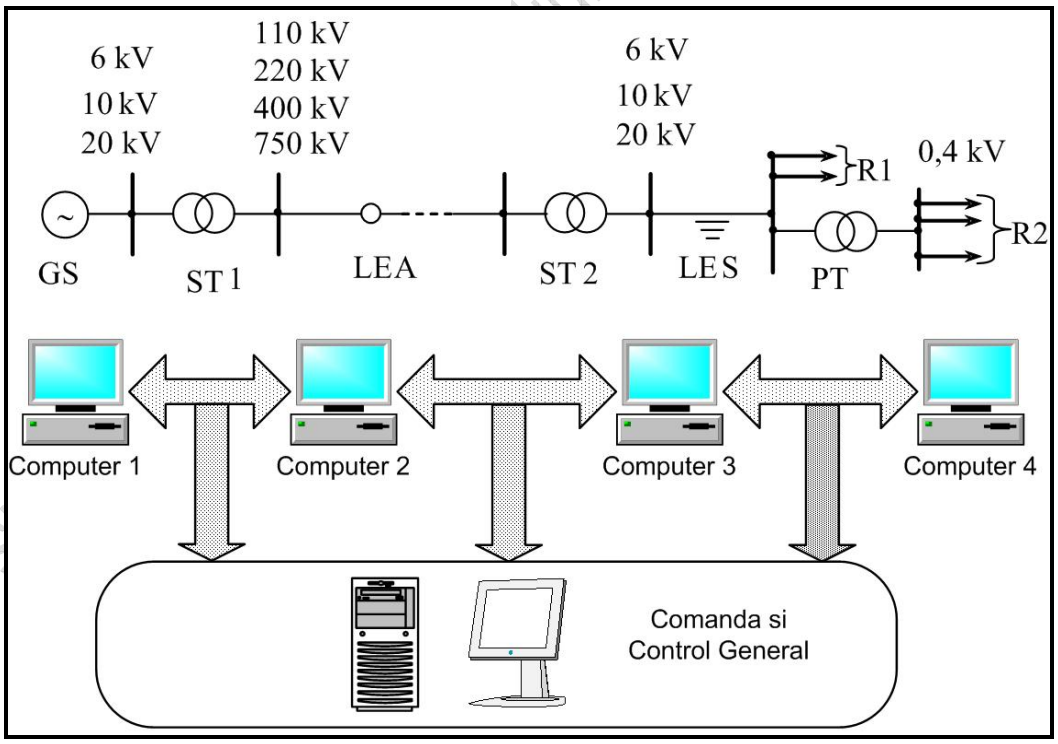


Figura 1. Schema simplificată a unui sistem electroenergetic şi fluxul informațional aferent.

GS - generator sincron; ST1 - stație de transformare ridicătoare de tensiune; LEA - linie electrică aeriană; ST2 - stație de transformare coborâtoare de tensiune; LES - linie electrică

subterană; R1 - receptoare de medie tensiune; PT - post de transformare; R2 - receptoare de joasă tensiune

În Figura 1, apare reprezentat pe lângă fluxul de energie electrică şi fluxul informațional care are un caracter vital pentru buna funcționare a sistemului având in vedere că acesta are un regim continuu şi nu permite decât în cazuri excepționale (avarii) întreruperi de scurtă durată. Fluxul informațional conține numeroşi parametrii ai energiei electrice (atât mărimile electrice instantanee cât şi indicatori ai calității acestora) în fiecare nod al sistemului iar gestiunea acestora se face ierarhic informatizat pe diverse nivele.

Producerea energiei electrice în majoritatea cazurilor este realizată de generatoare sincrone GS. Pentru reducerea pierderilor de energie electrică pe instalațiile de transport, care sunt direct proporționale cu lungimea rețelei şi cu puterea vehiculată şi invers proporționale cu pătratul tensiunii, se impune creşterea tensiunii cu transformatoarele ridicătoare de tensiune din stația de transformare ST1 de la 6 kV, 10 kV sau 20 kV (tensiune la bornele generatorului), la 110 kV, 220 kV, 400 kV sau 750 kV. În felul acesta pentru aceeaşi energie transportată, şi curenții din liniile de transport sunt mult mai mici.

Transportul energiei electrice spre consumatori se face prin mai multe linii electrice aeriene (LEA). La consumator tensiunea este micşorată de transformatoarele stației coborâtoare de tensiune ST2 până la nivelul 6 kV, 10 kV sau 20 kV. De la bornele secundarelor transformatoarelor din ST2, prin linii electrice subterane LES, se alimentează consumatorii de medie tensiune R1 (în general motoare de mare putere care acționează maşini de lucru importante ca suflante, exhaustoare, compresoare, etc.) şi posturile de transformare PT care sunt situate în "centrele de greutate" ale consumului de energie electrică, dintr-o anumită zonă a unei întreprinderi industriale sau a unei localități. Transformatoarele din posturile de transformare scad nivelul tensiunii de linie la 0,4 kV. De la barele secundare ale transformatoarelor din PT se alimentează cu energie electrică consumatorii R2 de joasă tensiune.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Conform legislației în vigoare [Leg07] rețeaua electrică este definită ca ansamblul de linii, inclusiv elementele de susținere si de protecție a acestora, stațiile electrice şi alte echipamente electroenergetice conectate între ele prin care se transmite energie electrică de la o capacitate energetică de producere a energiei electrice la un utilizator. Rețeaua electrică poate fi rețea de transport sau rețea de distribuție;

- Rețea electrică de distribuție – RED, rețeaua electrică cu tensiunea de linie nominală pana la 110 kV inclusiv;
- Rețeaua electrică de transport – RET, rețeaua electrică de interes național şi strategic cu tensiunea de linie nominala mai mare de 110 kV

După nivelul tensiunii, rețelele electrice ca şi instalațiile electrice aferente se împart în:

- Rețele de joasă tensiune (JT), cu tensiuni sub 1 kV;
- Rețele de medie tensiune (MT), cu treptele de 6 kV; 10 kV; 20 kV;
- Rețele de înaltă tensiune (IT), cu treptele de 110 kV şi 220 kV;
- Rețele de foarte înaltă tensiune (FIT) cu nivel de tensiune peste 220 kV (400 kV, 750 kV).

Nu se poate face o delimitare netă, după nivelul de tensiune, între liniile de transport şi cele de distribuție a energiei electrice. Liniile de transport a energiei electrice au nivelele de tensiune 400 kV, 220 kV sau chiar 110 kV, iar cele de distribuție 0,4 kV, 6 kV, 10 kV, 20 kV mergând până la 110 kV sau 220 kV, pentru alimentarea marilor consumatori.

Consumator de energie electrică reprezintă clientul final, persoana fizică sau juridică, ce cumpără energie electrică pentru consumul propriu. Consumator casnic este reprezentat de consumatorul care cumpără energie electrică pentru consumul propriu al gospodăriei, excluzând consumul aferent activităților comerciale sau profesionale. Consumatorii de joasă tensiune, deşi au puteri instalate relativ mici, prin numărul mare al acestora şi prin vasta lor diversitate reprezintă „baza" consumului de energie

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

electrică din sistem. De asemenea, consumatorii alimentați pe joasă tensiune introduc o serie de probleme legate de calitatea energiei pe care acestea o consumă în special de încărcarea cu armonici superioare a formei de undă a curentului absorbi, un grad ridicat de nesimetrice ale fazelor sistemelor de distribuție şi altele.

În funcție de puterea cerută şi aprobată, necesară desfăşurării proceselor care folosesc energie electrică, utilizatorii finali se clasifică în [Mir02, Gol10]:

- consumatori mici, în cazul în care puterea aparentă aprobată este mai mică sau egală cu 100 kVA;
- consumatori mari, a căror putere aparentă aprobată este cuprinsă între 100 kVA şi 1 MVA inclusiv;
- consumatori foarte mari, în cazul în care puterea aparentă aprobată depăşeşte 1 MVA.

În funcție de intensitatea curentului si de destinație (receptoarele alimentate), instalațiile electrice se pot clasifica în:

a) ***instalații de curenți "tari"*** (intensități ale curentului de ordinul amperilor sau kiloamperilor): *instalații de putere* ("forța"), cuprinzând echipamente destinate nemijlocit aplicării energiei electrice (producere, transport, distribuție, consum- utilizarea energiei electrice) in scop util: producerea de lucru mecanic, căldura, procese electrochimice, instalații de iluminat electric etc., *instalații de automatizare, măsura si control, instalații pentru compensarea puterii reactive, instalații pentru reducerea regimului deformant, instalații de protecție împotriva şocului electric, instalații de protecție împotriva supratensiunilor* (atmosferice, de comutație, de propagare)

b) ***instalații de curenți "slabi"*** i*nstalații de telecomunicații, instalații de detectare automata si de alarma, instalații de telesupraveghere a funcționarii instalațiilor de curenți "tari" din clădiri, instalații de ceasoficare, instalații de telecomanda si telemăsurare.*

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

4.1 Abordarea sistemică a instalaţiei electrice

Instalația electrică este considerată un caz particular de sistem , definit ca un set de obiecte interdependente (în corelație). Principiile de structurare a instalației decurg, prin urmare, din principiile generale de structurare a sistemelor [Din03].

Fiecare entitate tratată în cadrul unui proces de proiectare, execuție, exploatare sau întreținere constituie un obiect. Atunci când un sistem este o parte a unui alt sistem, poate fi considerat ca un obiect. Un sortiment de obiecte/elemente este o clasă sau o familie de elemente cu trăsături generale comune, indiferent de funcția concretă sau de particularitățile constructive (de exemplu: rezistoare, motoare, transformatoare).

Structurarea unui sistem semnifică divizarea succesivă şi subdivizarea sistemului în părți şi organizarea acestora (permițând astfel ca sistemul să poată fi proiectat, executat/fabricat, întreținut sau comandat în mod eficient) şi descrie relațiile de componență (este compus din..., face parte din...).

Orice sistem sau obiect poate fi privit sau descris de o manieră specifică (aspect) şi anume:

- funcție – ce face el (activitatea prin care realizează scopul propus), fără a lua în considerare amplasarea şi/sau produsele care realizează funcția;
- produs – cum este construit, fără a ține seama de funcția realizată sau de amplasament (un produs poate realiza mai multe funcții, se poate găsi singur sau împreună cu alte obiecte într-un amplasament);
- amplasare – unde este situat (poziția fiică în cadrul unui amplasament precizat: clădire, etaj, cameră, dulap, panou),indiferent de funcția îndeplinită sau de produs.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Plecând de la cele trei aspecte menționate, se pot defini pentru orice sistem/instalație: o structură bazată pe funcție, o structură bazată pe aspectul de produs şi o structură bazată pe amplasament.

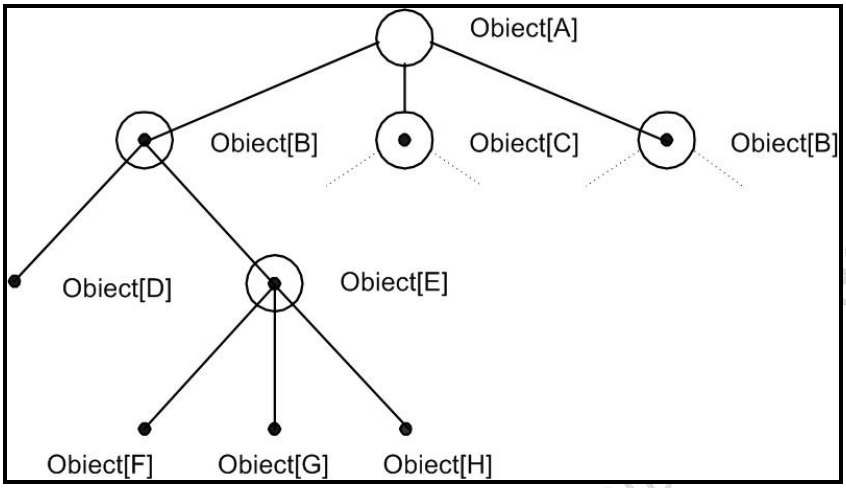


Figura 2. Reprezentarea sistemică a unei instalații electrice

Rezultatul subdivizărilor succesive bazate pe un anumit aspect al obiectelor poate fi reprezentat ca o structură arborescentă, aşa cum este ilustrat în Figura 2.

5. Sistemului de alimentare cu energie electrică a consumatorilor

Sistemul de alimentare cu energie electrică a utilajelor si receptoarelor unui consumator cuprinde, în principal sistemul extern şi sistemul intern [Din03, Jen03].

- Sistemul extern este reprezentat de rețeaua zonala a SEE, printr-un nod al rețelei (rețele de IT, MT sau JT, in funcție de puterea ceruta de consumator). Aparține furnizorului.
- Stația de primire (sau stațiile de primire, in cazul marilor consumatori) este materializata (in funcție de puterea solicitata de consumator) prin: stații de conexiuni (fără transformatoare) sau tablouri de distribuție. Poate aparține fie furnizorului, fie consumatorului(conform contractului încheiat).

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- Sistemul intern aparținând consumatorului conține:
  - rețele de distribuție interne (in JT,MT si/sau IT, in funcție de consumator) cu puncte de distribuție, prin care energia electrica este dirijata in diferite direcții si spre diferite elemente alimentate: stații de transformare, stații de conexiuni, tablouri de distribuție, bare de distribuție.
  - surse proprii ale consumatorului:
  - permanente, care acoperă o parte din consumul de energie electrică al consumatorului (de exemplu, o centrala electrică de platforma conectata la SEE)
  - de intervenție, care permit alimentarea provizorie a unui grup restrâns de receptoare importante (vitale), in cazul întreruperii alimentarii din sistemul extern: baterii de acumulatoare, generatoare sincrone mici acționate de motoare cu ardere interna.

Totalitatea elementelor de rețea (linii, aparate, etc…) care se interpun între sursă si un element alimentat constituie ceea ce se numeşte o cale de alimentare.

Ansamblul instalațiilor de distribuție şi de utilizare a energiei electrice de la nivelul unei întreprinderi, instituții sau colectivități formează consumatorul de energie electrică.

Furnizorul de energie electrică în sensul mai larg este constituit din totalitatea instalațiilor de producere, transport şi distribuție a energiei electrice până la consumator.

Legătura dintre furnizorul de energie electrică şi consumator se face printr-o stație de primire (SP), care în funcție de natura consumatorului, poate să fie stație de transformare (ST), post de transformare sau un tablou general de distribuție. Separarea dintre furnizor şi consumator se numeşte punct de delimitare (PD). Întreg ansamblul de alimentare du energie electrică este prezentat în Figura 3.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

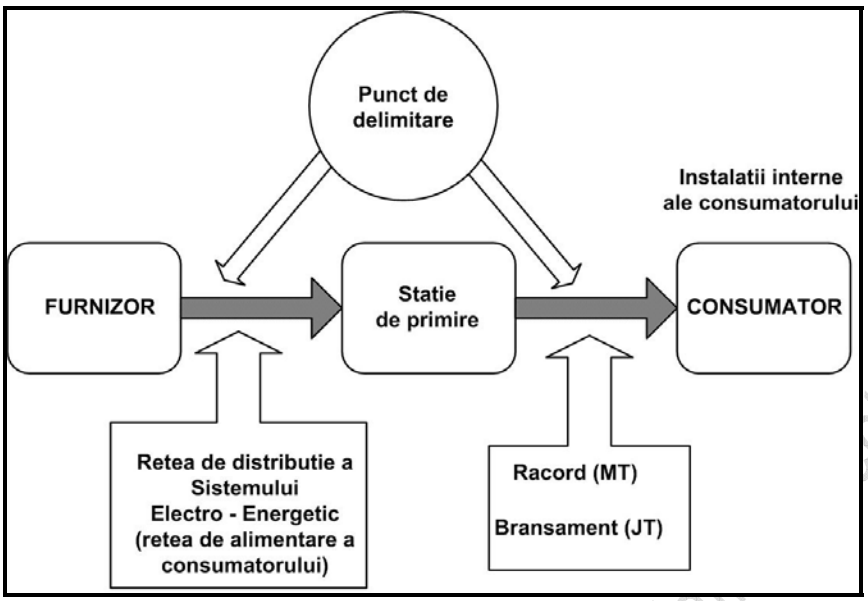


Figura 3. Ansamblul de alimentare cu energie electrică la consumator.

Consumatorii se pot alimenta din puncte de delimitare distincte, dacă prin fiecare punct se poate asigura energia necesară consumatorului în cazul dispariției tensiunii în celălalt punct. Astfel de puncte pot fi alimentate din: două centrale sau stații electrice diferite sau din două secții de bare distincte din aceeaşi centrală sau stație electrică, cu condiția ca fiecare secție să aibă cale independentă de alimentare; secțiile de bare pot să fie complet separate sau unite printr-un întreruptor cu declanşare rapidă la apariția unei perturbații pe una dintre ele.

Alimentarea cu energie electrică a consumatorilor se poate face de la următoarele surse: surse de bază (asigură alimentarea cu energie electrică în regimul normal de funcționare), surse de rezervă (folosite când nu mai sunt disponibile sursele de bază) şi surse de intervenție (intră în funcție când nu sunt disponibile sursele de bază şi cele de rezervă). Sursele de intervenție (centrale electrice proprii, generatoare sincrone mici acționate cu motoare cu ardere internă, baterii de acumulatoare, etc.) asigură alimentarea cu energie electrică a unui grup restrâns de receptoare, pentru evitarea unor fenomene periculoase la consumator.

Instalațiile sau rețelele de distribuție interne ale consumatorului sunt constituite din liniile, stațiile de transformare şi posturile de transformare

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

care preiau energia electrică de la barele secundare ale stațiilor de injecție şi o distribuie la fiecare receptor în parte.

Consumatorii mici (puteri instalate < 100 kW), cu receptoare exclusiv de joasă tensiune (JT) sunt alimentați direct din rețeaua de joasă tensiune (aeriană sau subterană a furnizorului), printr-un branşament care face legătura între linia de alimentare şi contorul de energie al consumatorului, situat la intrarea în echipamentul de primire (tabloul general).

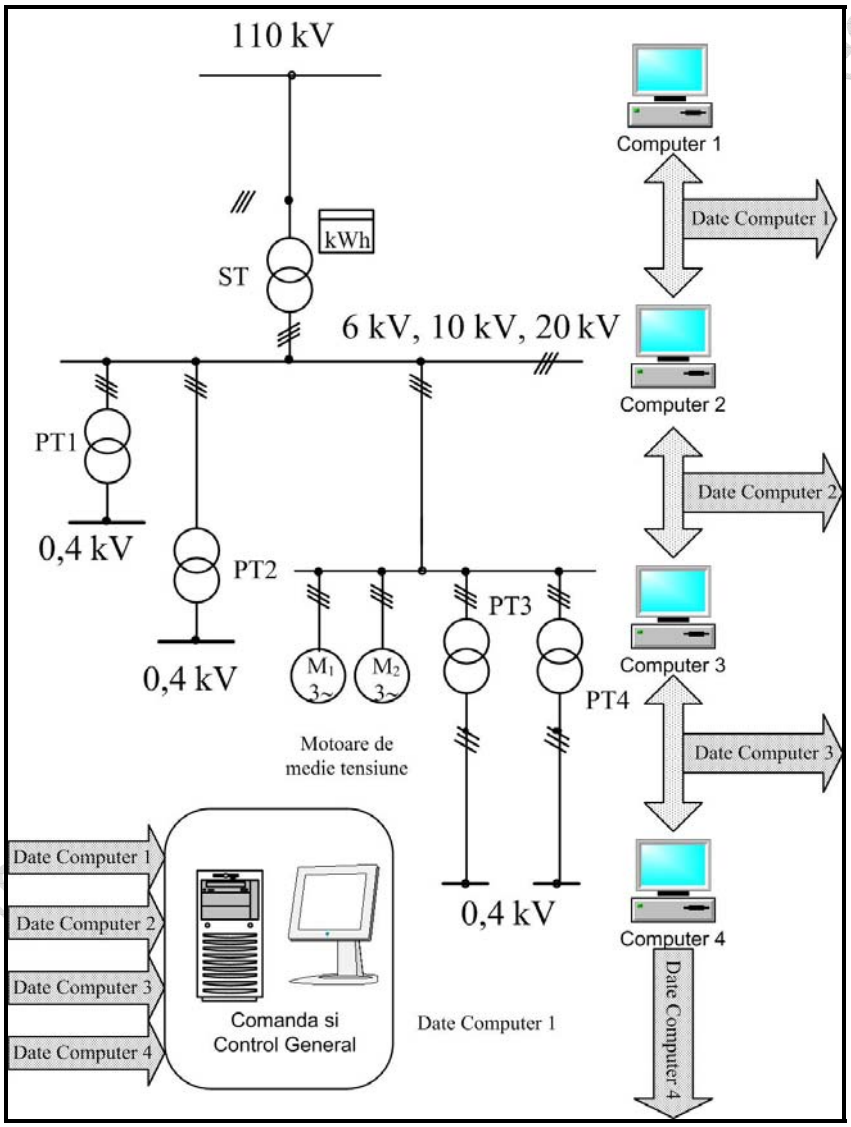


Figura 4. Schema electrică a unui racord de înaltă tensiune a instalațiilor interioare ale unei întreprinderi industriale împreună cu fluxul informațional aferent.

Consumatorii de puteri mai mari sunt alimentați din rețeaua de înaltă sau de medie tensiune a furnizorului, printr-un racord. Racordul este

instalația de legătură dintre nodurile sistemului energetic, sau liniile de transport şi instalațiile de distribuție interne ale consumatorilor şi realizat din una sau două linii electrice şi una sau două stații de transformare sau posturi de transformare. Stația de racord adânc este o stație (SRA) la care cablurile de înaltă tensiune (110 kV sau 220 kV) intră direct la bornele transformatoarelor (are schemă simplificată pe partea de înaltă tensiune, fără conexiuni şi aparate) în scopul realizării unui racord de înaltă tensiune al consumatorului la sistemul electroenergetic- Fig.4.

Conectarea consumatorilor (locurilor de consum) se efectuează de regulă în ***rețelele electrice de distribuție*** - RED (rețele cu *Un* < 110 kV) şi numai pentru marii consumatori cu puterea maximă de durată absorbită peste 50 MVA alimentarea cu energie electrică se poate realiza şi din ***rețelele electrice de transport*** – RET (rețele cu *Un* > 220 kV).

În mod obişnuit, racordarea consumatorilor la sistemul electroenergetic național, se face printr-o singură linie, care să asigure parametrii de siguranță şi de calitate ceruți. Modul de racordare este impus de nivelul de siguranță necesar al consumatorului. Alimentarea consumatorului din sistemul electroenergetic național, se poate realiza la următoarele nivele de siguranță:

- *nivelul 1*, prin două căi de alimentare independente, dimensionate fiecare pentru puterea necesară la consumator, şi prin două puncte distincte de racord. În caz de avarie a unei căi, se asigură continuitatea alimentării cu energie electrică pe calea a doua, neavariată, trecerea realizându-se prin comutarea automată;
- *nivelul 2*, prin două căi de alimentare care pot să fie independente între ele, având un singur punct de racord. Realimentarea consumatorului, în caz de avarie a unei căi, se poate face numai după identificarea defectului şi efectuarea unor manevre manuale de izolare a cestuia;

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- *nivelul 3*, printr-o singură cale de alimentare. Realimentarea cu tensiune, în caz de avarie se face numai după repararea sau înlocuirea elementelor defecte.

În funcție de natura efectelor produse la întreruperea alimentării cu energie electrică, receptoarele se clasifică în patru categorii [Art10, Mir02]:

- În categoria *receptoarelor de gradul ZERO* intră consumatorii la care întreruperea tensiunii de alimentare determină producerea de explozii, incendii, distrugeri grave de utilaje sau pierderea de vieți omeneşti. Astfel de receptoare sunt: instalațiile de ventilație şi de evacuarea gazelor nocive sau a amestecurilor explozive, iluminatul de siguranță, pompele şi ventilatoarele de răcire, calculatoarele de proces, furnalele, macaralele de turnare din oțelării, gospodăriile de apă ale laminoarelor, etc. Alimentarea cu tensiune se poate face prin căi independente sau de la surse de intervenție.
- *Consumatorii de gradul I* sunt acei consumatori care la întreruperea tensiunii de alimentare determină: dereglarea proceselor tehnologice în flux continuu (necesitând perioade lungi pentru reluarea activității la parametrii cantitativi şi calitativi avuți în momentul întreruperii), rebuturi importante, pierderi mari de produse care ar fi trebuit realizate în perioada lipsei de tensiune (pierderi nerecuperabile), dezorganizarea vieții sociale în centrele urbane, etc. În categoria acestor consumatori intră: liniile tehnologice de fabricație în serie a produselor, distribuitorul rotativ al furnalelor, pompele de vacuum în industria electrotehnică, laminoarele, instalațiile de comandă program ale maşinilor de prelucrare prin aşchiere, macaralele de fontă din oțelării, etc. Alimentarea cu tensiune ale acestor receptoare se face prin două căi de alimentare distincte.
- *Consumatorii de gradul II*, la întreruperea energiei electrice conduc la nerealizări de producție numai pe durata întreruperii (producția nerealizată poate fi recuperată). În această categorie intră majoritatea receptoarelor din industria constructoare de maşini, industria lemnului, etc. Alimentarea cu tensiune a acestor consumatori, obişnuit se face pe

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

o singură cale; a doua cale de alimentare se poate realiza numai dacă este justificată din punct de vedere tehnico-economic.

- *Consumatorii de gradul III*, la întreruperea energiei electrice determină efecte tehnico-economice neînsemnate. În această categorie intră instalațiile de alimentare a corpurilor administrative, a secțiilor de proiectare, a sălilor laboratoarelor, secțiile auxiliare (mecanice şi electrice), etc. Alimentarea acestor consumatori se face pe o singură cale.

6. Schemele şi structura reţelelor electrice de joasă tensiune

6.1 Principalele scheme de conexiune folosite în distribuţia de joasă tensiune

Esențial în utilizarea energiei electrice la consumatori (în marea lor majoritate de joasă tensiune) este limitarea riscurilor de natură electrică - protecția personalului şi a bunurilor materiale. Aceste deziderate pot fi realizate în mare măsură prin diverse moduri de legătură cu pământul a neutrului secundarului transformatorului de distribuție MT/JT şi a maselor echipamentelor electrice alimentate din rețea.

Schemele de distribuție ale instalațiilor electrice se determină în funcție de [Nor02, Ghi00]:

- tipurile schemelor conductoarelor active (monofazat cu două sau trei conductoare, bifazat cu trei conductoare, trifazat cu trei patru sau 5 conductoare)
- tipurile de scheme de legare la pământ

Schemele de legare la pământ sunt notate prin simboluri cu următoarea semnificație:

- prima litera care precizează situația rețelei de alimentare în raport cu pământul:
  - T – legătură directă cu pământul

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- I – fie izolarea tuturor părților active față de pământ, fie legarea la pământ a unui punct printr-o impedanță

➢ A doua literă precizează situația maselor instalaților electrice în raport cu pământul

- T – masele instalației legate direct la pământ, indiferent de eventuala legare la pământ al unui punct al alimentării
- N – legătură electrică directă a maselor la punctul rețelei de alimentare legat la pământ (în mod normal, punctul neutru)

➢ Alte litere indică dispunerea conductorului neutru şi a conductorului de protecție

- S – funcția de protecție este asigurată printr-un conductor separat de cel neutru sau de un eventual conductor activ legat la pământ (în curent alternativ)
- C – funcțiile de conductor şi de protecție pot fi îmbinate într-un singur conductor (PEN)

Schemele TN au un punct legat la pământ, masele instalației fiind legate în acest punct prin conductoare de protecție. În această schemă curentul de defect între fază şi masă este un curent de scurtcircuit monofazat. Se consideră trei tipuri de scheme TN funcție de dispunerea conductorului neutru şi a conductorului de protecție şi anume:

➢ *Schema TN-C*, în care funcțiile de neutru şi de protecție sunt combinate într-un singur conductor pentru întreaga schemă (conductor PEN) - Figura.5

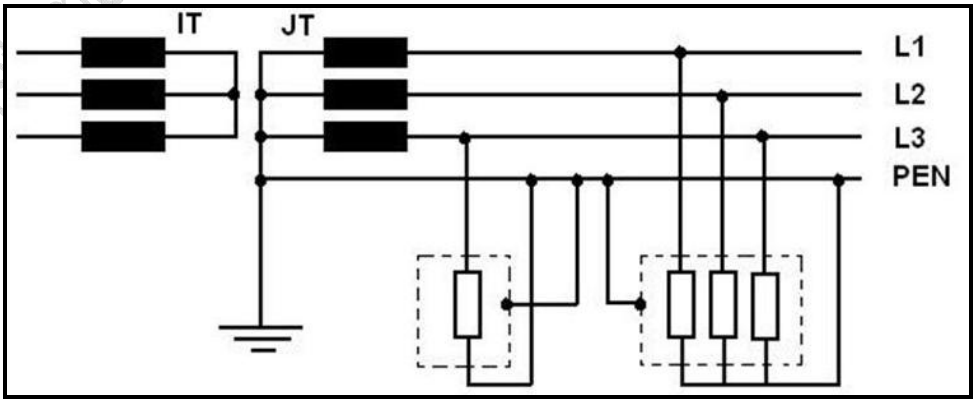


Figura 5. Schema TN-C.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- *Schema TN-S*, în care un conductor de protecție distinct este utilizat pentru întreaga schemă (conductor N şi conductor PE) – Figura 6

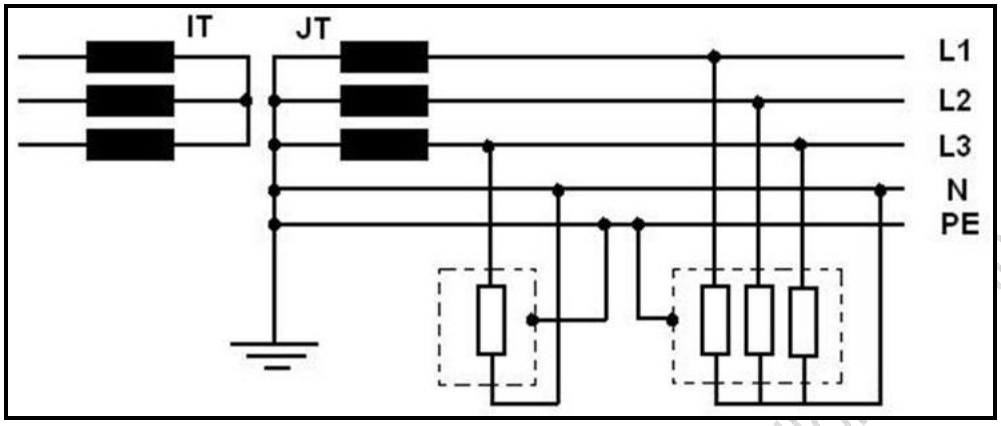


Figura 6. Schema TN-S.

- *Schema TN-C-S*, în care funcțiile de neutru şi de protecție sunt combinate într-un singur conductor doar pe o porțiune a schemei – Figura 7

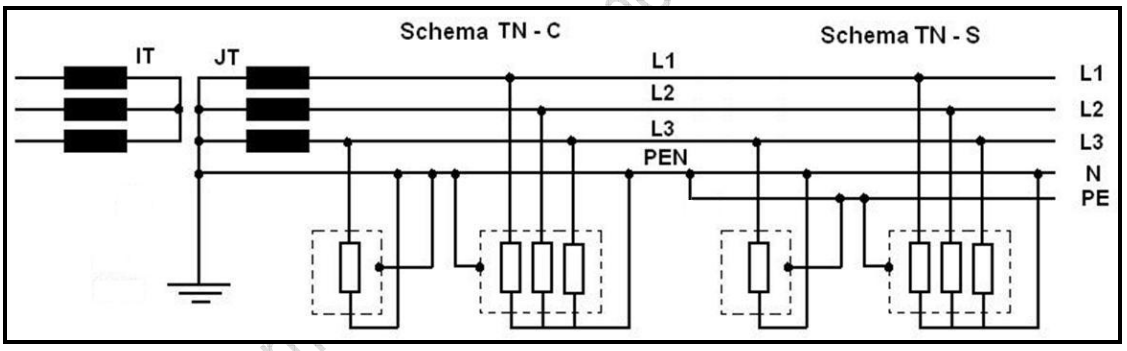


Figura 7. Schema TN-C-S.

Schema TT, are un punct de alimentare legat la pământ, masele instalației electrice fiind legate de prize de pământ independente din punct de vedere electric de priza de pământ a alimentării. În această schemă curenții de defect fază –masă, pentru intensități chiar mai mici decât cele ale unui scurtcircuit, pot fi suficient de mari pentru a provoca apariția unei tensiuni periculoase.- Figura 8.

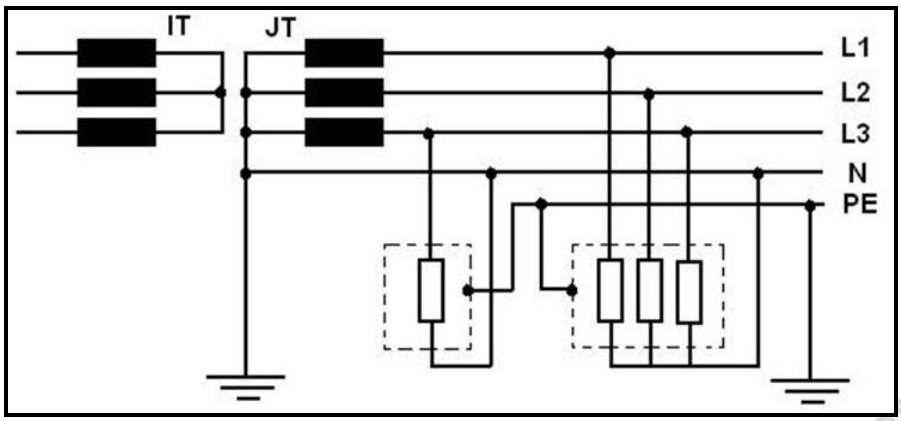


Figura 8. Schema TT.

În schema IT, toate părțile active sunt izolate față de pământ sau legate la pământ prin intermediul unei impedanțe, masele instalației electrice fiind legate la pământ. În această schemă, un curent rezultat dintr-un defect fază-masă are o intensitate suficient de mică încât nu poate provoca o tensiune de atingere periculoasă- Figura 9. Limitarea curentului rezultat în cazul unui singur defect se realizează prin rezistențele de izolație ale rețelei față de pământ şi se obține fie in absența legăturii la pământ a alimentării, fie prin intercalarea unei impedanțe între un punct al alimentării (în general neutrul) şi pământ. Această schemă necesită o permanentă monitorizare a stării izolației rețelei.

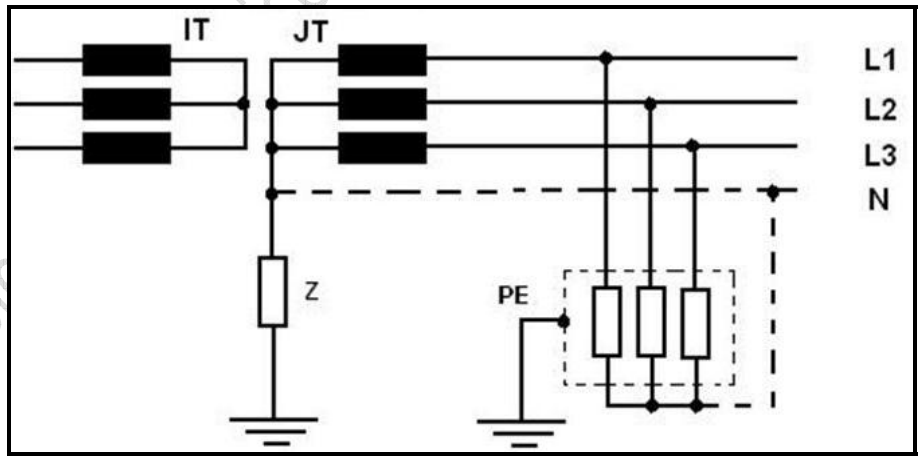


Figura 9. Schema IT.

Soluția uzuală constă în alimentarea receptoarelor şi utilajelor printr-o rețea de joasă tensiune, în curent alternativ trifazat, cu patru conductoare active (trei faze şi neutru), cu neutrul de protecție legat la pământ (TN, TT),

cu tensiunea nominală 3 x 400/230 V, la frecvența de 50 Hz care satisface simultan necesitățile receptoarelor trifazate, bifazate şi monofazate (inclusiv cele pentru iluminat).

Transformatoarele MT/JT utilizate pentru realizarea rețelei de distribuție au, de regulă, conexiunea triunghi-stea cu neutrul accesibil: Dy 11 sau Dyn 11.

Rețelele au, în majoritatea cazurilor, neutrul legat la pământ, chiar la transformatorul de alimentare, printr-o priză de pământ separată de priza de pământ a maselor din instalație: sistemele TT şi TN, ceea ce permite:

- Limitarea tensiunii la care este supus organismul uman la atingerea unei faze;
- Eliminarea defectelor de punere la pământ a unei faze, prin crearea unui circuit de defect, prin pământ, al cărui curent sensibilizează aparatul de protecție la supracurenți de pe faza respectivă sau un dispozitiv de protecție diferențial
- Limitarea tensiunii la care este supus organismul uman la atingerea unei carcase metalice legate la pământ sau intrate accidental sub tensiune, ca urmare a unui defect de izolație
- Protecție față de trecerea accidentală a tensiunii medii pe partea de joasă tensiune

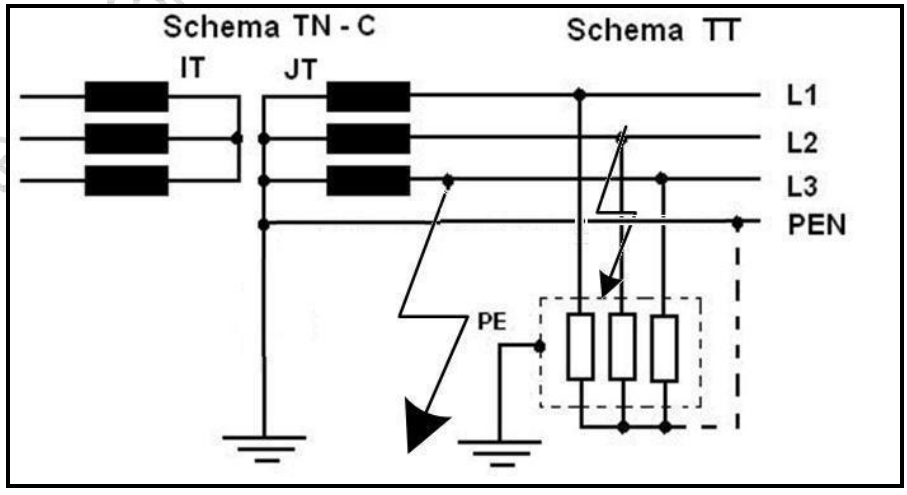


Figura 10. Soluția uzuală de alimentare a instalațiilor de joasă tensiune.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Rețelele cu neutrul izolat față de pământ (IT) se folosesc, de exemplu, în industria petrolieră şi minieră sau în alte instalații din medii cu pericol crescut de electrocutare, unde prezintă avantaj față de rețelele legate la pământ. Soluția este însoțită de controlul automat al izolației rețelei față de pământ şi presupune alimentarea instalației dintr-un post de transformare propriu al consumatorului. Schema IT se foloseşte, de asemenea, atunci când se pune pe primul plan continuitatea în serviciu a instalației, întrucât un defect simplu nu presupune întreruperea alimentării. În plus, unele normative naționale impun folosirea unui dispozitiv limitator de tensiune (descărcător) în secundarul transformatorului, ca mijloc de protecție în cazul străpungerii izolației între cele două înfăşurări ale transformatorului.

6.2 Componența reţelelor electrice de joasă tensiune

Primul element din rețeaua de joasă tensiune este tabloul de distribuție general de distribuție (TGD) al consumatorului ($I_n \leq 2400$ A).

Celelalte puncte de distribuție pot fi:

- tablouri de distribuție de tip panou, dulap, din cutii echipate etc., clasificate, după intensitatea curentului sosirii, în tablouri principale ($I_n \leq 600$ A)- TPD şi tablouri secundare ($I_n \leq 300$ A) - TSD;
- canale prefabricate de bare (un sistem de 4 bare într-o incintă de protecție), realizate ca tronsoane care pot fi îmbinate şi prevăzute cu posibilitatea efectuării de derivații pentru ramificații. În funcție de intensitatea curentului nominal, canalele pot fi canale magistrale şi canale de distribuție.

În practică, circuitele electrice care alimentează puncte de distribuție sunt denumite *coloane*, termenul de circuit fiind consacrat pentru alimentarea fiecărui receptor sau echipament de la ultimul punct de distribuție.

În Figura 11 sunt prezentate principalele tipuri de scheme de distribuție ce se utilizează în alimentarea receptoarelor electrice dintr-o clădire.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

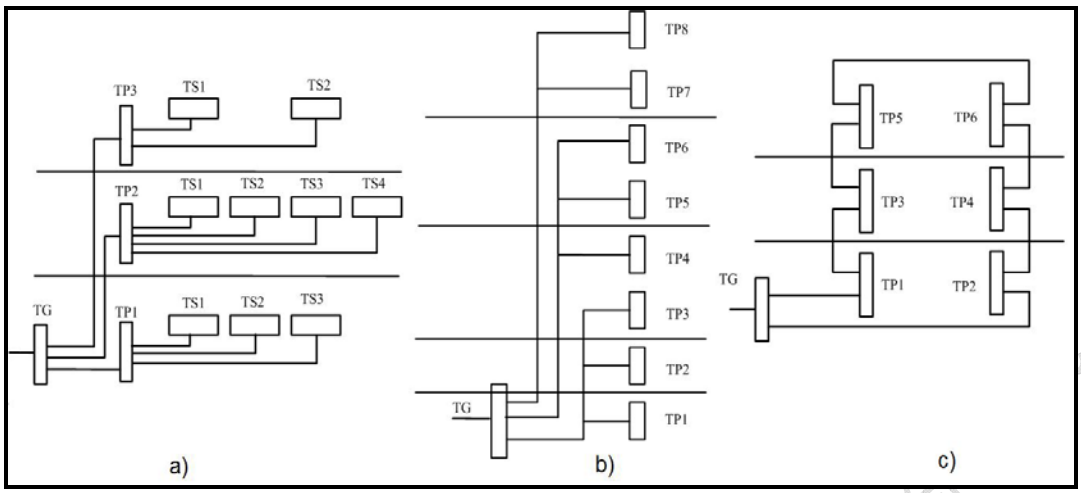


Figura 11. Scheme de distribuție ce se utilizează în alimentarea receptoarelor electrice dintr-o clădire.

În Figura 11 au fost utilizate următoarele notații: TG – tablou general; TP1-TP6,– tablouri principale iar – TS1-TS3 tablouri secundare.

Schema de *distribuție radială* Figura 11-a este folosită cel mai des deoarece este simplu de executat, oferă o bună siguranță în funcționare şi exploatare (întreținere) uşoară. Defectul pe un circuit sau pe o coloană este uşor de identificat şi, de cele mai multe ori, nu afectează alte grupuri de receptoare din clădire. Schema din Figura 11-a se foloseşte în alimentarea cu energie electrică a clădirilor de mari dimensiuni, atât pe verticală, cât şi pe orizontală.

Schema de *distribuție cu coloane magistrale* Figura 11-b se adoptă atunci când puterea tablourilor secundare este relativ mică (3 -7 kW). Coloana va alimenta două sau trei tablouri secundare, iar puterea coloanei nu ar trebui să depăşească 20 -25 kW. În astfel de scheme, tabloul general este mult mai simplu, cu aparate electrice puține. Dezavantajul schemei este acela că un defect pe una din coloane scoate din funcțiune un număr mare de receptoare.

Alimentarea în „buclă” a tablourilor secundare – Figura 11-c, se utilizează atunci când se cere o siguranță mai mare în funcționare pentru receptoarele din clădire. Coloana are aceeaşi dimensiune pe toată lungimea. Un defect pe coloană nu duce la întreruperea funcționării unor receptoare.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor e

În acest caz tablourile electrice sunt alimentate după sistemul cu coloane magistrale.

Consumatorii alimentați dintr-un post de transformare sunt conectați la rețea prin intermediul unui *cofret de branşament* (CB). În prezent, cofretele diferiților consumatori sunt conectate în „buclă”

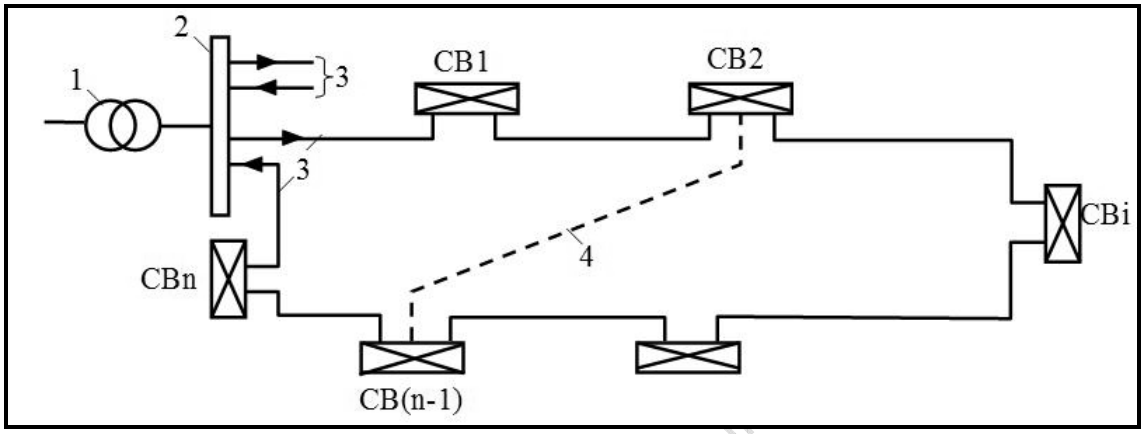


Figura 12. Scheme de distribuție alimentată in buclă cu siguranță mărită în alimentare.

Alimentarea în buclă permite o siguranță mare în alimentarea tuturor consumatorilor. În caz de defect pe o porțiune de rețea (de exemplu scurtcircuit) aceasta se deconectează din cofretele de la capete. Toți consumatori sunt alimentați, în continuare, prin două rețele radiale. După înlăturarea defectului porțiunea din rețea se repune în funcțiune, refăcându-se alimentarea în „buclă” a consumatorilor.

Atunci când la rețea sunt conectați consumatori pentru care se solicită siguranță mai mare în alimentare, aceştia pot fi conectați şi la alte cofrete din rețea Fig.12.

7. Serviciul de dimensionare a instalaţiilor electrice de joasă tensiune

10.1 Evaluarea parametrilor energiei electrice cerute de consumator

Sarcina electrică este definită ca fiind puterea electrică (activă, reactivă sau aparentă), debitată sau absorbită de un sistem tehnic. De multe ori prin

Sisteme informatice de gestiune a

sarcină electrică se înțelege şi valoarea curentului electric absorbit (cerut) de consumator.

Predeterminarea sarcinii electrice este cea mai importantă etapă la alegerea şi proiectarea unui sistem de alimentare cu energie electrică. Această etapă determină principalii indicatori tehnici şi economici ai sistemului electroenergetic interior al consumatorului: nivelul investițiilor, cheltuielile de mentenanță, siguranța în funcționare.

Puterea electrică necesară unui consumator, pentru a asigura desfăşurarea activităților sale, diferă pe parcursul unei zile, fiind diferită în funcție de intensitatea activităților desfăşurate la diferitele ore şi de tipul zilei: de lucru sau de sărbătoare, de sezon etc. Curba care reprezintă variația puterii electrice absorbită de un consumator, pe parcursul unei zile, se numeşte grafic de sarcină şi poate să se refere la puterea activă, puterea reactivă sau puterea aparentă - Figura 13.

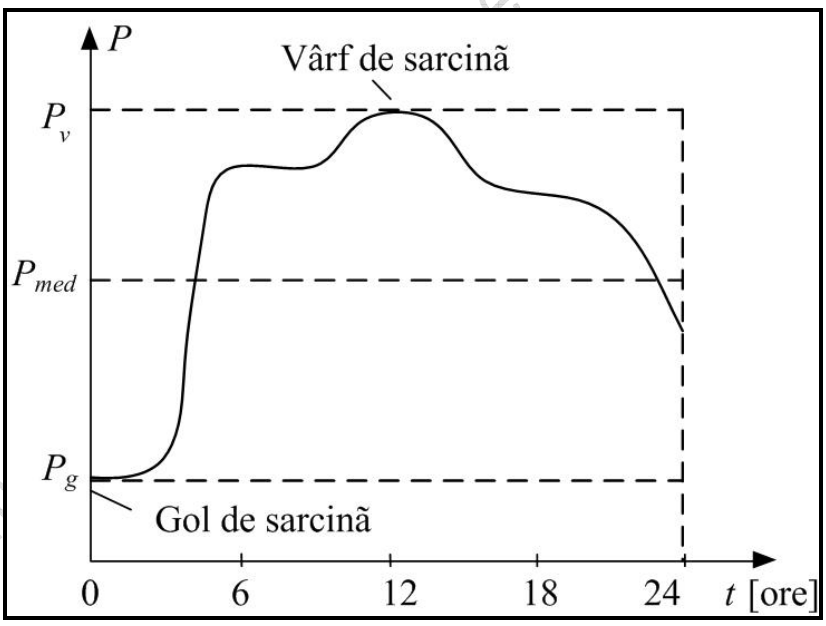


Figura 13. Variația puterii electrice absorbite de consumator.

În principiu, un grafic de sarcină prezentat în Figura 13, poate fi definit prin următoarele mărimi [Goi11, Gol10]:

- valoare de vârf de sarcină P_v;
- valoare la gol de sarcină P_g ;
- valoare medie P_{med};

- profil.

Puterea instalată activă P_i se defineşte ca suma aritmetică a puterilor nominale active ale receptoarelor consumatorului. O atenție specială trebuie acordată motoarelor electrice la care este indicată puterea mecanică la arbore, puterea electrică fiind mai mare, având în vedere randamentul motorului ($P_e = P_{mec}/\eta$).

Stabilirea puterii active necesară este prima etapă în abordarea şi rezolvarea problemelor de alimentare cu energie electrică, dar necesită o analiză atentă a modului de funcționare a receptoarelor acestuia.

Utilizarea puterii instalate pentru dimensionarea instalației ar duce la supradimensionări ale echipamentelor şi materialelor electrice, întrucât încărcarea reală a rețelei este mult sub cea nominală datorită în principal neîncărcării fiecărui receptor la puterea nominală şi a nefuncționării simultane a tuturor receptoarelor din instalație.

Puterea de calcul (cerută sau absorbită) este o valoare convențională care permite evaluarea condițiilor de încălzire a rețelelor electrice de alimentare. Se defineşte ca fiind o sarcină constantă care determină acelaşi efect termic cu sarcina reală, variabilă în timp. Deşi, la modul cel mai riguros, se referă la puterea aparentă S_c , în calculele practice, se utilizează puterea activă de calcul P_c determinată ca puterea medie maximă care poate să apară pe graficul de sarcină în intervalul de cerere. Durata intervalului de cerere se stabileşte în funcție de condițiile de încălzire ale conductoarelor. O valoare de 0,5 ... 2 ore, de circa 3 ori mai mare decât constanta de timp a procesului de încălzire a conductoarelor, permite stabilirea puterii de calcul din graficul de sarcină.

Puterea de calcul este, de regulă, mai mică decât puterea maximă (fiind o medie pe un interval de timp mai mare).

Factorul de cerere k_c al unui grup de receptoare se defineşte ca fiind raportul dintre puterea de calcul şi puterea instalată: $k_c = \frac{P_c}{P_i}$.

Factorul de cerere variază scăzător, de la receptor spre punctul de alimentare – Fig.14 [Sch07].

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

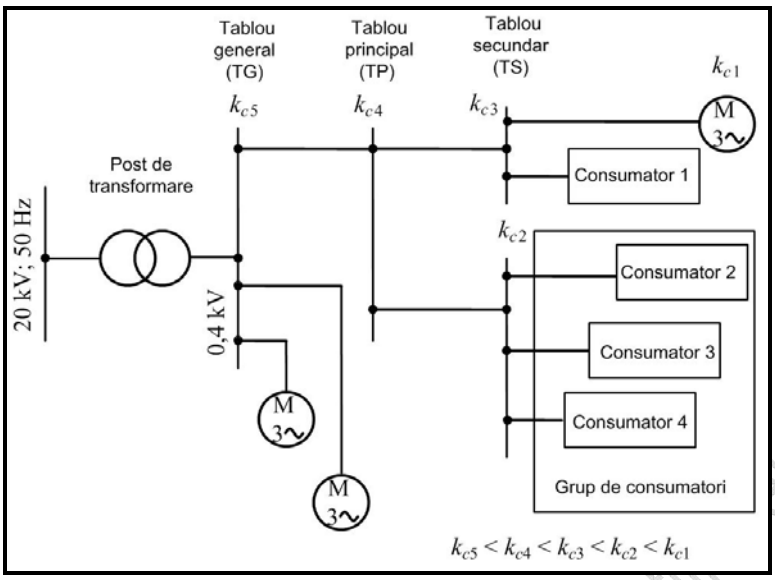


Figura 14. Variația factorului de cerere în cadrul instalației electrice interioare.

Factorul de simultaneitate k_s ($k_s < 1$) este definit pentru un grup de receptoare şi reprezintă raportul dintre puterea maximă absorbită de ansamblul de receptoare P_{tmax} şi suma algebrică a puterilor maxime a celor n receptoare individuale ale grupului: $k_s = \frac{P_{t\max}}{\sum_{i=1}^{n} P_{\max i}}$.

Stabilirea valorii factorului de simultaneitate necesită cunoaşterea, în profunzime, a procesului tehnologic şi poate fi estimat pe baza experienței unor consumatori cu profil asemănător. În principiu, cu cât numărul de receptoare, în cadrul ansamblului luat în considerație, este mai mare, cu atât factorul de simultaneitate este mai redus.

Valorile estimate ale factorilor de utilizare şi ale factorilor de simultaneitate permit evaluarea puterii necesară dimensionării transformatoarelor de alimentare a consumatorului.

În Figura 16 este prezentat, ca exemplu, modul de evaluare a puterii necesară transformatorului de alimentare a unui consumator industrial de joasă tensiune.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

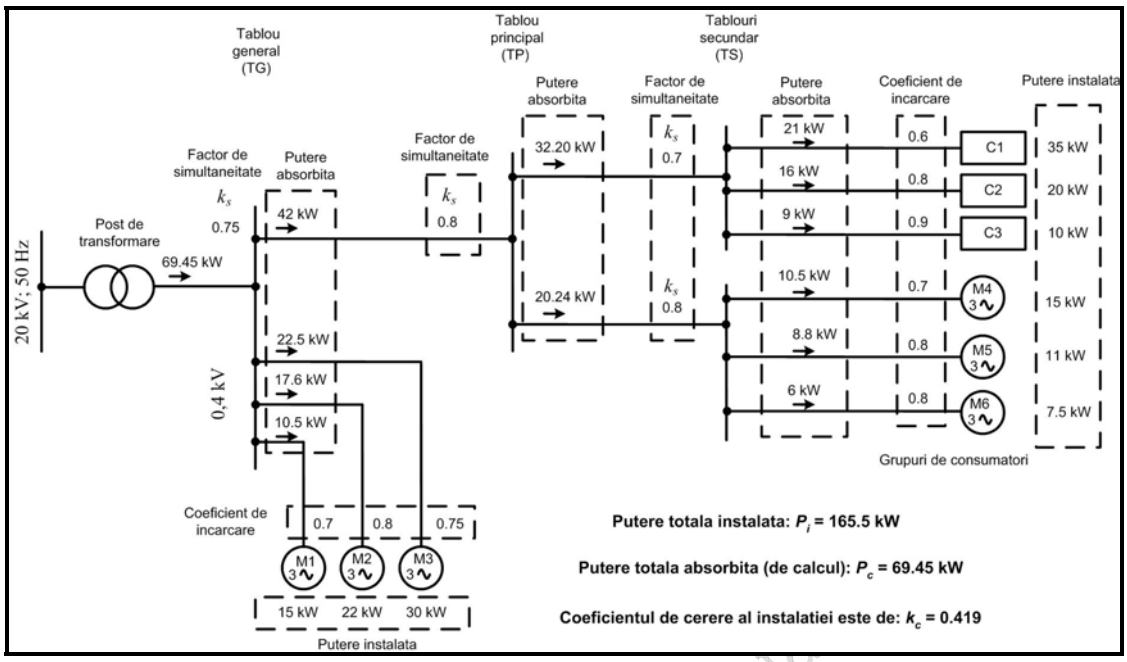


Figura 15. Circulația de putere în cadrul unei instalației electrice.

Exemplul prezentat în Figura 15 indică faptul că, pentru o putere instalată totală în cadrul consumatorului de 165.5kW, transformatorul de alimentare este solicitat la o putere egală cu 69,45 kW. Analiza efectuată permite cunoaşterea circulațiilor de putere la un moment dat. Modificarea factorilor de utilizare şi a factorilor de simultaneitate determină modificarea fluxurilor de putere. Pentru dimensionarea circuitelor din instalațiile electrice sunt folosite puterile de calcul.

O gestionare informatică a tuturor parametrilor consumatorilor în cadrul instalației, permite o ilustrare mai corectă a fluxului de putere în întreg sistemul monitorizat şi un management energetic superior atât în faza de proiectare, unde se generează diverse scenarii privind regimul de funcționare al fiecărui receptor cât mai alesi în faza de exploatare a instalației [Lin08, Wat06].

7.2 Serviciul de dimensionare optimală circuitelor receptor din instalaţiile electrice

O sintetizare a metodologiei de proiectare optimală a instalațiilor electrice este foarte bine prezentată în [Sch07]. Etapele descrise în această metodologie sunt expuse sintetic în Figura 16.

La dimensionarea circuitelor se urmăreşte ca părțile componente ale acestora şi protecțiile lor să fie calculate astfel încât toate condițiile de funcționare, normale sau anormale, să fie îndeplinite [Sch07, Jen03].

După o analiză preliminară care stabileşte cerințele de putere ale unei instalații electrice, trebuie realizat un studiu din punct de vedere al cablajului (toate conductoarele izolate, inclusiv cablurile unifilare şi multifilare, precum şi la conductoarele izolate pozate în tub, etc.) şi al protecției acesteia, pornind de la originea instalației, trecând prin zonele intermediare şi până la circuitele finale.

La fiecare nivel cablurile şi protecțiile acestora, trebuie să îndeplinească simultan câteva condiții, pentru a avea garanția unei instalații sigure, şi anume:

- să suporte curentul de sarcină permanent şi, pe termen scurt, supracurenți;
- să nu genereze căderi de tensiune ce ar avea ca urmare performanțe scăzute ale anumitor sarcini, de exemplu: un timp de accelerație excesiv de lung la pornirea motoarelor, funcționări defectoase ale echipamentelor electronice.

În plus, dispozitivele de protecție (întreruptoarele automate sau fuzibilele) trebuie:

- să protejeze cablurile şi barele de distribuție pentru toate valorile de supracurent, incluzând şi curenții de scurtcircuit;
- să asigure protecția persoanelor împotriva contactelor indirecte accidentale, în mod special în cazul sistemelor TN şi IT, unde lungimea circuitelor poate limita valorile curenților de scurtcircuit, întârziind astfel deconectarea automată (trebuie amintit faptul că, în cazul sistemelor TT instalațiile sunt, în mod obligatoriu, protejate de către

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

dispozitive de curent diferențial rezidual, în general, de sensibilitate 300 mA).

Secțiunile conductoarelor sunt determinate în principal pe criteriul stabilității termice şi dinamice coroborat împreună cu criteriul tensiunii maxime admisibile la consumator. În plus, anumite standarde naționale pot recomanda o anumită secțiune minimă care trebuie respectată din motive de rezistență mecanică. De asemenea sarcinile particulare impun o supradimensionarea a secțiunii cablurilor care le alimentează şi prin urmare dispozitivele lor de protecție vor fi stabilite în consecință.

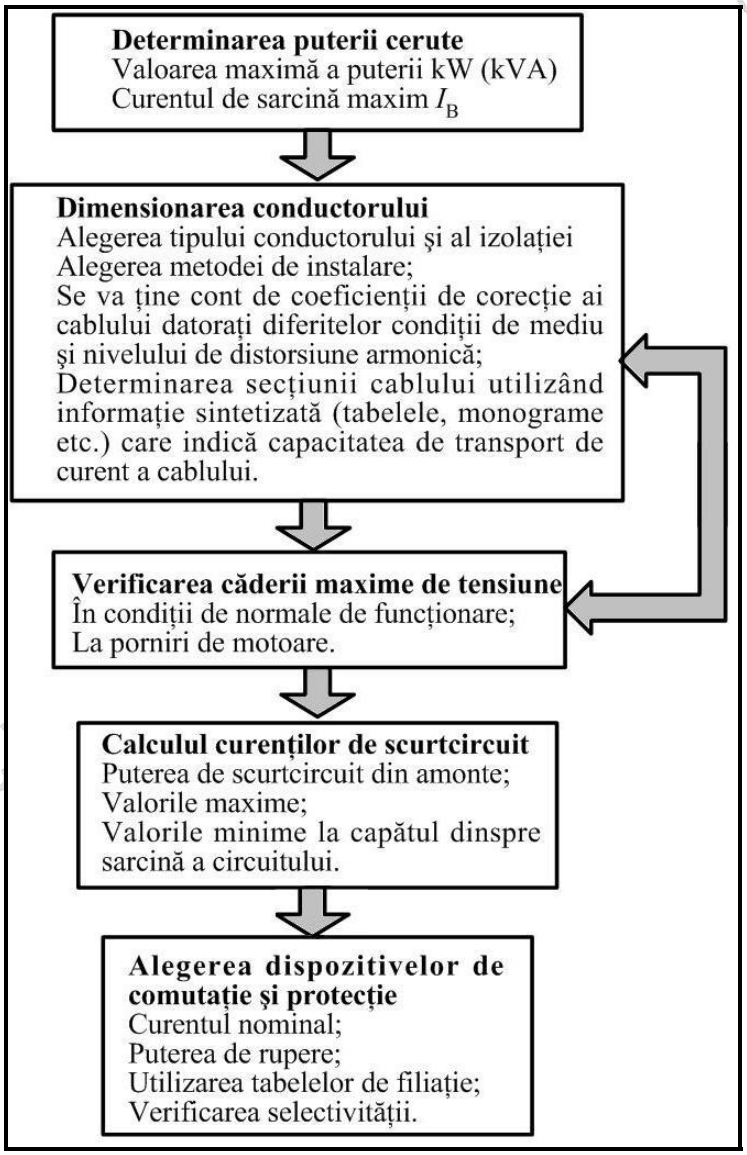


Figura 16. Etapele serviciului de dimensionare optimală a circuitelor receptor din instalația electrică [Sch07].

Metodologia prezentată în Figura 16 a impus utilizarea unor anumiți termeni cu largă răspândire, întâlniți de altfel şi în documentația tehnică a marilor furnizori de echipament electric pentru instalații. În cele ce urmează sunt prezentați câțiva dintre aceştia.

Curentul maxim de sarcină: I_B

- la nivelul circuitelor finale, acest curent corespunde sarcinii nominale exprimate în kW(kVA). În cazul pornirilor de motoare sau a altor sarcini care absorb la pornire un curent ridicat, mai ales în aplicațiile cu porniri dese (exemplu: motoare de lift, sudură, etc.) trebuie luate în considerare efectele termice cumulative ale acestor supracurenți. Sunt afectate atât cablurile cât şi releele termice de protecție.
- la nivelul circuitelor din amonte, acest curent corespunde puterii de alimentare, în kW (kVA), care ține cont de coeficienții de simultaneitate k_s şi de utilizare (încărcare) k_i.

Curentul maxim admisibil: I_z reprezintă valoarea maximă a curentului pe care cablajul circuitului o poate suporta un timp nedefinit fără a i se reduce durata normală de viață. Pentru o secțiune dată a conductorului, valoarea curentului maxim admisibil depinde de anumiți parametrii:

- modul constructiv al cablului şi conductoarelor (conductor din cu sau al, izolație din PVC sau EPR etc., număr de conductoare active);
- temperatura ambiantă;
- metoda de instalare;
- influența circuitelor învecinate.

Supracurenții: Se spune că se produce "supracurent" atunci când curentul depăşeşte valoarea maximă a curentului de sarcină I_B aferent sarcinii respective. Pentru evitarea deteriorării ireversibile a cablului (sau a receptorului, în cazul în care supracurentul se datorează unui defect al acestuia), acest curent trebuie întrerupt într-un timp care depinde de

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

valoarea sa. Supracurenți de durată relativ scurtă pot apărea, totuşi, în funcționarea normală; se pot distinge două tipuri de supracurenți:

1. Suprasarcini: Sunt curenți ce pot apărea în condiții normale de funcționare datorită unui număr de sarcini care funcționează ocazional, simultan sau pornirilor de motoare, etc. Dacă oricare din aceste condiții persistă mai mult decât o perioadă de timp dată (care depinde de reglajul releului de protecție sau de calibrul fuzibilului), circuitul va fi, în mod automat întrerupt.

2. Curenții de scurtcircuit I_{sc}: Sunt curenți care apar datorită deteriorării izolației dintre conductoarele active şi/sau dintre conductoarele active şi pământ (în cazul sistemelor de legare la pământ prin impedanțe mici), în următoarele variante:

- curent de scurtcircuit trifazat (implicând sau nu conductorul de neutru şi/sau conductorul de protecție);
- bifazat (implicând sau nu conductorul de neutru şi/sau conductorul de protecție);
- monofazat cu conductorul de neutru (şi/sau cu conductorul de protecție).

Curentul de scurtcircuit trifazat I_{sc} reprezintă cel mai mare curent de scurtcircuit (mai mare decât cel bifazat sau monofazat) prezumat în acel punct al instalației şi stă la baza alegerii puterii de rupere a dispozitivului de protecție posibil şi reprezintă valoarea prezumată a curentului de scurt circuit in punctul considerat al rețelei.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

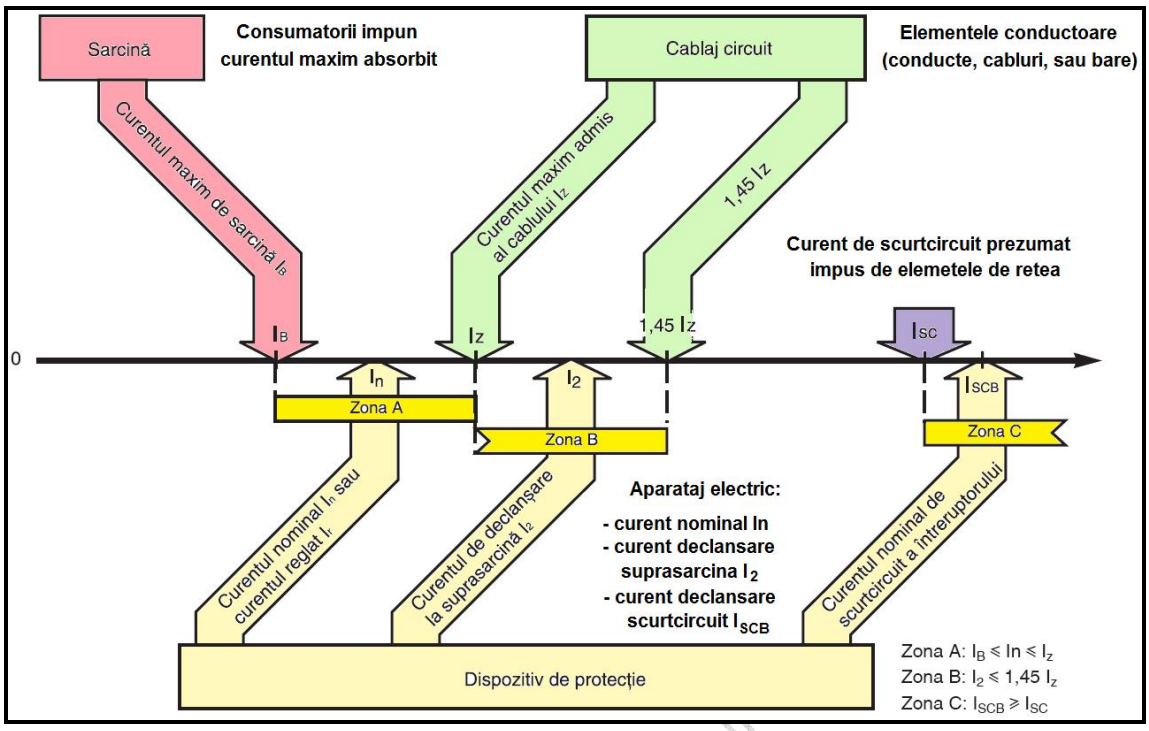


Figura 17. Monograma serviciul de selecție a cablajului şi a aparaturii de protecție şi comutație a unui receptor [Sch07].

Modul în care metoda sintetizat serviciul de dimensionare a unei instalații electrice pornind de la elementele de circuit (prezentată în Fig. 16) concret implementată este reprezentată în Figura 17 şi se bazează pe reguli şi normative stabilite prin standarde CEI care sunt puse în practică de numeroase țări.

Un dispozitiv de protecție (întreruptor automat sau fuzibil) se amplasează la începutul circuitului de protejat şi funcționează corect (îşi îndeplineşte rolul funcțional) dacă:

- permite curentului maxim de sarcina I_B să circule un timp nedefinit.
- acționează în sensul întreruperii supracurentului într-un timp mai scurt decât cel dat de caracteristica termică (I^2t) a cablajului a circuitului (previne uzura termică în timp a cablajului)
- curentul său nominal I_n sau curentul reglat notat fie cu I_r sau I_{rth} este mai mare decât curentul maxim de sarcină I_B, dar mai mic decât

Sisteme informatice de gestiune a

curentul maxim admis I_z al cablului, adică: $I_B < I_n < I_z$ corespunzător zonei "A" din Figura 18;

- valoarea curentului de declanşare la suprasarcină a dispozitivului de protecție I_2, reglat în mod "convențional" este mai mică decât $1.45I_z$ ceea ce corespunde zonei "B" din Figura 18.

Durata de declanşare "convențională" poate fi reglată între o oră şi 2 ore în funcție de standardele locale şi de valoarea aleasă pentru I_2. În cazul fuzibilelor, I_2 este curentul (notat I_f) la care fuzibilul funcționează în timpul convențional;

- curentul nominal de scurtcircuit al dispozitivului de protecție I_{SCB} (puterea de rupere a dispozitivului exprimată în kA) - este mai mare decât curentul de scurtcircuit trifazat al circuitului I_{sc} în punctul respectiv al instalației - curentul de scurtcircuit prezumat în acel punct al instalației. Aceasta corespunde zonei "C" din Figura 18.

Asocierea diferitelor dispozitive de protecție trebuie să asigure ***selectivitatea protecției*** în circuit. Selectivitatea este realizată de dispozitive automate de protecție, astfel încât un defect care apare în orice punct a instalației, să fie deconectat de dispozitivele de protecție plasate imediat în amonte de defect, în timp ce toate celelalte dispozitive de protecție rămân în aceeaşi stare.Prin limitarea în amplitudine şi durată a valorii de vârf a curentului de scurtcircuit un întreruptor automat limitator permite utilizarea, în circuitele din aval, a unor aparate de comutație şi componente de circuit cu capacități de deconectare şi performanțe de stabilitate termică şi electrodinamică mai scăzute decât în cazurile clasice. Reducerea dimensiunilor fizice şi a cerințelor de performanță asigură economii substanțiale şi simplificarea lucrărilor de instalare.Utilizarea unor dispozitive de protecție având capacități de rupere mai mici decât nivelul curentului de scurtcircuit calculat în punctele de amplasare este permisă de CEI şi de anumite standarde naționale în următoarele condiții:

- în amonte este amplasat un alt dispozitiv de protecție care are puterea de rupere necesară, şi

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- cantitatea de energie ce poate să treacă prin dispozitivul din amonte numită şi integrala termică pe durata avariei, este inferioară valorii pe care dispozitivul de protecție din aval, împreună cu întreg cablajul o pot suporta fără a se deteriora.

În practică acest lucru este admis:

- în cazul asocierii întreruptor automat/fuzibil, în tehnica numită ***"filiație"*** în care capacitatea de limitare foarte mare a anumitor tipuri de întreruptoare automate reduce în mare măsură valoarea curentului de scurtcircuit din aval.

Combinațiile posibile care au fost testate în laborator sunt indicate în documentația tehnică a tuturor marilor producători de astfel de dispozitive.

Având în vedere numărul relativ mare de parametrii, date şi condiții care trebuie satisfăcute simultan în cadrul procesului de proiectare a circuitelor electrice din instalația electrică, un sistem informatic robust poate gestiona în mod optim aceste cerințe şi răspunde rapid şi precis acestora. Astfel în Figura 18 sunt prezentate schematic principalele componente unui astfel de sistem şi interacțiunile dintre ele.

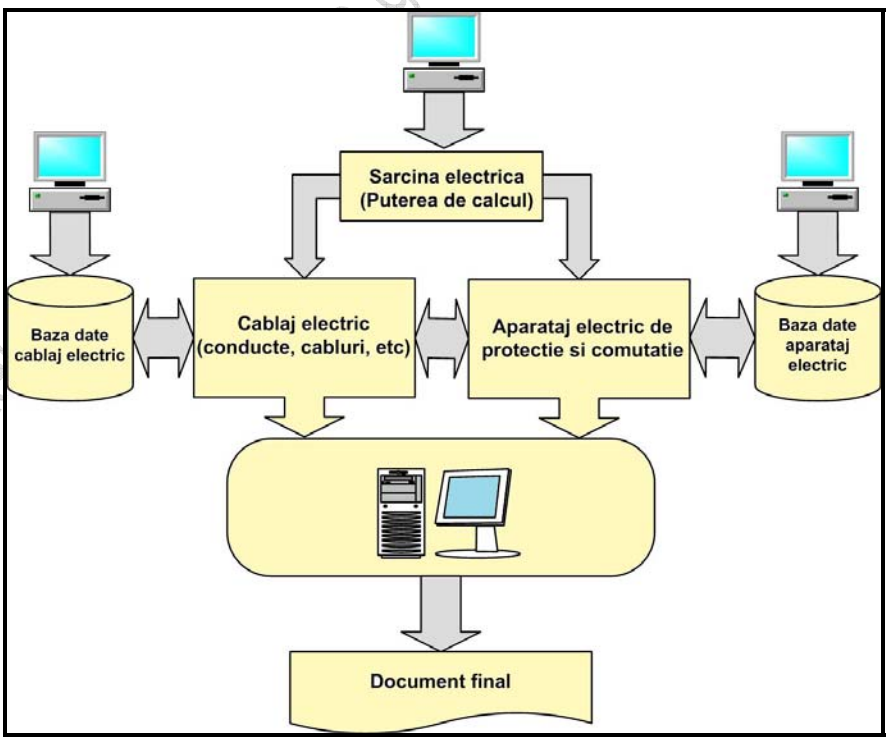


Figura 18. Gestiunea informatizată a procesului de proiectare a instalației electrice .

8. Informaţia şi documentaţia tehnico-economică necesară serviciului de proiectare a instalaţiei electrice

Informația tehnică asupra unei instalații electrice este furnizată sub formă de documente cum sunt: schemele electrice, schemele de amplasare, diagrame funcționale, tabele, liste de instrucțiuni sau descrieri funcționale [Din03, Ghi00].

Schema este o reprezentare grafică ilustrând, cu ajutorul simbolurilor grafice şi al unor inscripții adecvate, relații dintre componentele şi părțile unui sistem sau al unui echipament inclusiv interconexiunile aferente.

Planul de amplasare (harta) prezintă grafic plasarea instalației în spațiul înconjurător.*Tabelul sau lista* pot înlocui sau completa o schemă sau o diagramă.

Documentația tehnică însoțeşte instalația pe toată durata existentei acesteia, începând cu faza de concepție, oferind informații atât cu privire la echipamentele componente cât şi la montajul, punerea în funcțiune, exploatarea, întreținerea, automatizarea şi monitorizarea funcționării acestora. În general, documentația trebuie să prezinte cât mai complet instalația, sistemul sau echipamentul respectiv, ă fie precisă şi concisă, să fie uşor de însuşit şi actualizat.

Documentația trebuie să furnizeze informația într-o formă unitară şi cât mai simplă posibilă. Elaborarea şi prezentarea documentelor trebuie să vizeze aplicabilitatea practică, ceea ce impune claritatea expunerii, schemelor instrucțiunilor şi ilustraților, precum şi folosirea unui sistem de identificare precisă şi rapidă a tuturor elementelor la care utilizatorul va avea acces. În general, elaborarea porneşte de la un nivel de ansamblu, urmat de niveluri din ce în ce mai detaliate. Nivelul de detaliu trebuie să furnizeze explicarea funcționării (schemele circuitelor terminale ale instalației), ca şi descrierea modului de concepere a schemelor (conexiunile intre elementele componente).

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Prezentarea documentației conform unei structuri normalizate permite tratarea unitară şi informatizarea elaborării, stocării şi transmiterii informației, în contextul proiectării asistate de calculator (CAD).

Elaborarea şi utilizarea materialului informativ trebuie să asigure:

- înțelegerea fără echivoc a prezentărilor
- transferul corect către toți factorii implicați în folosirea instalației, pe toată durata existenței acesteia.

Realizarea acestor deziderate implică existența unui limbaj tehnic unic, agreat simultan de către proiectant, producător şi utilizator, de regulă universal (neafectat de deosebirile lingvistice), care să cuprindă:

- terminologie unică
- reguli unitare de întocmire şi prezentare a documentelor

Standardizarea răspunde cerințelor enumerate anterior. Se deosebesc:

Standarde internaționale, elaborate de organizații şi organisme cuprinzând reprezentanți a cât mai multe state:

- CEI/ IEC - Commision Electrotechnique Internationale/International Electrotehnical Commission
- CANELEC – Comité Europeen de Normalization Electrotechnique
- ISO Iinternational Organization for Standardization

Exemplu: CEI Publication/IEC International Standard CEI/IEC 60617-1,2,..13 (notare cu 5 cifre, prima fiind 6, urmate de numărul de părții, separat prin liniuță, dacă standardul este elaborat pe părți).

Standardele CEI preluate ca norme europene de către CENELEC păstrează acelaşi număr însă precedat de indicativul EN (European Norm).

Standarde naționale, care au la bază standardele internaționale pe care le preiau fie integral, fie parțial, cu adaptare la tradiția națională.

Standardele româneşti, preluate integral, au acelaşi număr de identificare ca şi standardele internaționale, precedat de SR (standard român). Exemple: SR EN 60617 (pe părți) - Simboluri grafice pentru schemele electrice, SR EN 61082 (pe părți) - întocmirea documentelor

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

folosite în electrotehnică- SR EN 61346 (pe părți), principii de structurare şi identificare pentru sisteme industriale, instalații şi aparate - SR CEI 60364-Instalații electrice ale clădirilor. Sunt în vigoare şi alte acte normative naționale ca, de exemplu, Normativul privind proiectarea şi executarea instalațiilor electrice cu tensiuni până la 1000 V c.a. şi 1500 c.c. (I7-2002) [Nor02].

De un interes deosebit sunt materialele documentare elaborate de diferiți furnizori de echipamente, care au o vastă experiență (unii de peste 150 ani) şi notorietate în proiectarea echipamentelor electrice de o mare diversitate şi o gamă foarte variată de puteri. (ABB, Siemens, Schneider Electric, Möller -Eaton, Legrand şi altele)

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Bibliografie

[Art10] Artecno, 2010, Manualul de instalații: Sisteme de iluminat, instalații electrice şi de automatizare, Editura Artecno.

[Atk02] Atkinson B, 2002 Electric installation Design, Wiley-Blackwell; 3rd Edition Edition.

[Din03] Dinculescu P. 2003. Instalații electrice industriale de joasă tensiune, Editura Matrix.

[Ghi00] Ghid pentru instalații electrice cu tensiuni până la 1000 V c.a. ŞI 1500 V c.c. Indicativ: GP 052-2000

[Goi11] Goia, M. şi alții. 2011. Utilizatori de energie electrică alimentați la joasă tensiune, Editura AGIR

[Gol10] Golovanov, N. şi alții. 2010. Consumatori de energie electrică. Materiale, Măsurări, Aparate, Instalații, Editura AGIR

[Jen03] Jenkins B.D., Coates M, 2003. Electrical Installation Calculations, Blackwell Science 3rd Edition Edition.

[Leg07] Legea energiei electrice nr. 13 din 2007

[Lin08] Linsley C., Advanced Electrical Installation Work, Newnes Publishing House.

[Mir02] Mircea I. 2002, Instalații şi echipamente electrice. Ghid teoretic şi practic, Edidtura Didactică şi Pedagogică.

[Nor02] Normativ pentru proiectarea şi executarea instalațiilor electrice cu tensiunii până la 1000 v c.a. şi 1500 V c.c. Indicativ: I 7-02

[Sch07] Schneider Electric, 2007, Manualul instalațiilor electrice.

[Wat06] Watkins A. J., Kitcher C. 2006, Electrical installation calculations, vol. 1+2, Elsevier and Newnes Publishing, 6th Edition.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Capitol nr. 2

Elemente de predeterminare a sarcinii electrice (puteri instalate şi utilizate, curenţi etc.) şi de dimensionare a circuitelor în instalaţiile electrice de joasă tensiune

1. Subiect:

Prezentul material tratează calitativ şi cantitativ serviciul de predeterminare a sarcinilor electrice cerute în instalațiile electrice împreună cu principale aspectele legate de dimensionarea circuitelor receptor din cadrul acestor instalații.

2. Obiective:

Capitolul de față prezintă principalele metode de predeterminare şi evaluare a sarcinii electrice de calcul, mărime care stă la baza dimensionării tuturor instalațiilor electrice de joasă, medie şi înaltă tensiune. De asemenea sunt prezentate şi principalele elemente necesare serviciului de dimensionare a circuitelor şi coloanelor electrice dintr-o instalație electrică de joasă tensiune.

3. Sarcina electrică în instalaţiile electrice

În cadrul instalațiilor electrice, sarcina electrică reprezintă o mărime care caracterizează consumul de energie electrică. Mărimile electrice utilizate frecvent în acest scop sunt puterea activă *P*, reactivă *Q*, aparentă *S* şi intensitatea curentului electric *I*.

În proiectarea instalațiilor electrice la consumatori este necesar să se cunoască în primul rând puterea activă (cel mai adesea indicată în kW) absorbită de către:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- receptoare, pentru dimensionarea circuitelor de receptor;
- utilaje (un grup de receptoare), pentru dimensionarea circuitelor de utilaj;
- grupuri de receptoare şi utilaje, pentru dimensionarea tablourilor de distribuție şi a coloanelor de alimentare a acestora;
- secții ale întreprinderii şi apoi de întreaga întreprindere, pentru dimensionarea posturilor de transformare, a liniilor de medie şi înaltă tensiune şi a stațiilor de distribuție sau transformare (pentru instalațiile de medie şi înaltă tensiune).

Caracteristicile tehnice nominale ale receptoarelor sunt: puterea activă P_n, sau aparentă S_n, tensiunea U_n, conexiunea fazelor, curentul I_n, randamentul η_n, factorul de putere $\cos\varphi_n$, relația dintre curentul de pornire I_p (conectare) şi curentul nominal I_n, sub forma raportului I_p/I_n. Pentru a se cunoaşte interacțiunea receptoarelor cu rețeaua, este necesar [Din03, Lin08]:

- să se identifice diverse tipuri de sarcină;
- să se analizeze cauzele apariției acestor sarcini;
- să se aibă în vedere efectele sarcinilor respective asupra rețelei;
- să se prevadă soluții pentru controlul şi limitarea efectelor diverselor tipuri de sarcini.

În cazul receptoarelor realizate pentru un regim de funcționare intermitent (motoare electrice), trebuie specificată şi durata relativă de acționare nominală a acestora: DA_n.

Puterea activă instalată P_i a unui receptor reprezintă puterea sa nominală raportată la durata de acționare de referință DA=1: $P_i = P_n\sqrt{DA_n}$, în care DA_n este o mărime relativă subunitară, numită durată activă relativă de funcționare, şi poate lua una din următoarele valori DA_n=0.15; 0.25; 0.4; 0.6 şi 1. Prin urmare, puterea instalată P_i a unui receptor este mai mică, cel mult egală cu puterea nominală P_n a acestuia.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

În cazul receptoarelor caracterizate prin puterea aparentă nominală S_n (de ex. transformatoare electrice), puterea instalată se obține utilizând şi factorul de putere nominal cosφn, din relația: $P_i = S_n \cos\varphi_n \sqrt{DA_n}$.

Pentru un grup de *n* receptoare, puterea instalată totală se determină ca sumă a puterilor instalate a receptoarelor componente P_{ij}: $P_i = \sum_{j=1}^{n} P_{ij}$.

Utilizarea puterii instalate a unei instalații electrice pentru selecția echipamentelor aferente (cabluri electrice, aparate electrice etc.) ar duce la o supradimensionarea a acestora datorită faptului că, în general, nu toți consumatorii funcționează simultan şi au o încărcare sub cea nominală. Prin urmare, ***puterea activă absorbită***, care se ia în considerare în calculul de dimensionare al instalației, se numeşte ***putere cerută sau de calcul.*** Această putere notată P_c reprezintă o putere activă convențională, de valoare constantă, care produce în elementele instalației electrice (conducte şi echipamente) acelaşi efect termic ca şi puterea variabilă reală, într-un interval de timp bine determinat (de ex. 30 min.), în perioada de încărcare maximă [Din83, Wat06].

4. Serviciul de identificarea a tipurilor de sarcini, regimuri de funcţionare şi efectele acestora asupra reţelei

Regimul de funcționare a unui receptor este definit prin ansamblul mărimilor electrice termice şi mecanice care caracterizează funcționarea acestuia la un moment dat.

- <u>*Regimul de lucru nominal*</u> defineşte funcționarea receptorului în condiții specificate, mărimile electrice şi mecanice luând valorile indicate de constructor pe plăcuța receptorului sau cartea tehnică a acestuia.
- <u>*Regimul de mers în gol*</u> corespunde funcționării receptorului alimentat cu parametrii energetici ceruți de acesta însă fără sarcină (nu furnizează putere utilă).

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- *Regimul de repaus* înseamnă absența completă a oricărei alimentări cu energie electrică, a oricărei acționări mecanice, a oricărei mişcări.

Se deosebesc următoarele *regimuri de lucru* ale receptoarelor electrice [Din83, Jen03]:

- *Regimul de lungă durată*, care corespunde funcționării cu parametri constanți sau foarte puțin variabili în jurul valorii nominale un timp suficient de lung încât echilibrul termic să fie atins.
- *Regimul de scurtă durată*, care corespunde funcționării receptorului cu parametri constanți, un timp mai mic decât cel necesar atingerii echilibrului termic, urmat de un repaus cu o durată suficientă pentru ca receptorul să revină la temperatura mediului ambiant.
- *Regimul intermitent periodic*, care constă dintr-o succesiune de cicluri identice, fiecare ciclu conținând un timp de funcționare $\boldsymbol{t}_a$ cu parametri constanți şi un timp de repaus t_p, durata ciclului $\boldsymbol{t}_c$, nedepăşind 10 minute. Un astfel de regim este caracterizat prin durata activă relativă a ciclului: $DA = \frac{t_a}{t_c} = \frac{t_a}{t_a + t_p}$.

Concret, în cadrul instalației, sarcina electrică poate funcționa în *regim normal sau anormal*. Regimul normal este caracterizat prin *curenți de durată* şi *supracurenți funcționali,* iar regimul anormal este determinat de *suprasarcini* şi *scurtcircuite* - Figura 1.

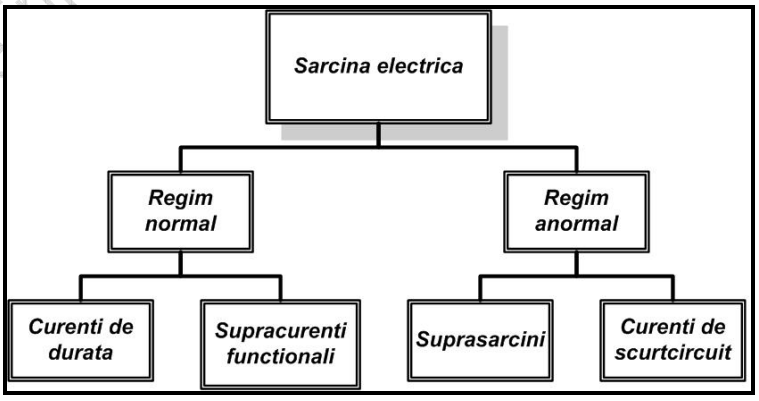


Figura 2. Regimurile în care se poate găsi o sarcină electrică.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Curenții de durată sunt acei curenți care nu depăşesc valorile nominale I_n, caracteristice receptoarelor, fiind determinați de funcționarea receptoarelor conform cerințelor de utilizare. Aceştia produc încălzirea conductoarelor şi a tuturor elementelor rețelei, în conformitate cu serviciul în care funcționează receptoarele, determinând, în acelaşi timp, pierderi de tensiune în rețea. Valorile lor se iau în considerare, în primul rând, la dimensionarea rețelei, astfel încât solicitările produse să nu depăşească limitele admisibile. Curenții de durată constituie sarcina de bază, pentru alegerea preliminară a elementelor de circuit.

Supracurenții funcționali de scurtă durată (curenții de vârf sau vârfuri de curent), rezultă din principiul de funcționare al receptoarelor şi depăşesc de câteva ori curentul nominal. În această categorie intră şi curenții de pornire ai motoarelor electrice (2 - 8 I_n), şocurile de curent la cuptoarele electrice cu arc şi la transformatoarele de sudură, curenții de conectare la lămpile electrice (în special lămpile cu incandescență – până la 15 I_n) şi la bateriile de condensatoare. Supracurenții funcționali provoacă încălzirea (adiabatică) suplimentară a elementelor rețelei, creşterea momentană a pierderilor de tensiune şi solicitarea suplimentară a aparatelor de protecție. Dacă nu este posibilă diminuarea acestor curenți, prin schema de conectare la rețea, consecințele lor se înlătură prin supradimensionarea corespunzătoare a elementelor rețelei (conductoare şi aparate de protecție), astfel încât solicitările să rămână în limitele admisibile, iar aparatele de protecție să nu interpreteze valorile respective drept un regim de avarie şi, ca atare, să nu declanşeze.

Suprasarcinile sunt curenți de ordinul (1.2 ~ 1.5)I_n sau mai mari, de durată, ce apar, practic, numai la anumite receptoare, fiind datorate în principal următoarelor cauze:

- *Supraîncărcarea motoarelor electrice*: depăşirea cuplului electromagnetic nominal M_n (proporțional cu pătratul tensiunii în cazul motoarelor asincrone) de către cuplul rezistent M_r al maşinii de lucru prin:
  - Suprasolicitarea mecanismului antrenat

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- Scăderea cuplului electromagnetic prin:
  - Scăderea tensiunii de alimentare (cădere de tensiune în rețea) determinată de toate receptoarele alimentate
  - Întreruperea unei faze, în timpul funcționării (suprasarcină până la (1.7 ~ 1.8)I_n
- Dispariția tensiunii fără deconectarea motorului (aflat în sarcină) de la rețea, urmată de revenirea tensiunii; dacă, în acest caz, cuplul rezistent depăşeşte cuplul de pornire ($M_r > M_p$), în circuit se menține timp îndelungat un curent $I = I_p$ (curentul de calare egal cu cel de pornire).

- *Supraîncărcarea, în exploatare*, a unui circuit, prin creşterea puterii solicitate față de cea preconizată prin proiectare:
  - În circuite amovibile (circuite de prize, circuite de iluminat cu lămpi cu soclu sau filet), prin racordarea unor receptoare de putere mai mare sau a mai multor receptoare cu funcționare simultană;
  - Solicitarea unui tablou electric de distribuție în urma modificării unor rețele:
    - Modificarea unor circuite pentru a alimenta receptoare de putere mai mare;
    - Adăugarea de circuite noi, dacă nu există rezervă din proiectare sau se depăşeşte rezerva.

Suprasarcinile au ca efect supraîncălzirea receptoarelor şi a rețelei (care depinde de pătratul intensității curentului electric absorbit şi de durata suprasarcinii), putând cauza reducerea duratei de viată a izolației sau deteriorarea acesteia, cu degenerare în scurtcircuit, sau producerea de incendii. Suprasarcinile trebuie eliminate în timp util, prin acțiunea aparatelor de protecție la suprasarcină, care trebuie prevăzute în circuitele respective (de exemplu, elemente bimetalice, conținute în relee sau declanşatoare termice). Timpul de eliminare a suprasarcinii depinde de valoarea curentului de suprasarcină şi de caracteristica timp-curent a aparatului de protecție (maxim 2 minute).

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Curenții de scurtcircuit, sunt curenți de valori mult superioare curenților nominali $I_{sc} >> I_n$. Apariția acestora este posibilă în toate circuitele, datorită fie unor defecte ale receptoarelor sau rețelei, manifestate prin deteriorarea izolației şi stabilirea unui contact direct între diferite conductoare ale rețelei sau între conductoarele de linie şi pământ, fie unor manevre sau conexiuni greşite. Parcurgerea rețelei de către curenții de scurtcircuit este însoțită de efecte termice şi electrodinamice importante (proporționale cu pătratul intensității curentului şi cu durata scurtcircuitului), motiv pentru care se impune deconectarea cât mai rapidă a porțiunii defecte a rețelei, prin acționarea aparatelor de protecție la scurtcircuit, prevăzute obligatoriu în toate circuitele. Deconectarea trebuie corelată, pe cât posibil, cu limitarea valorilor curenților de scurtcircuit.

Serviciul complet de predeterminare a sarcinii electrice va trebui prin urmare să răspundă în întregime tuturor acestor solicitări în perspectiva dimensionării optime a conductelor de alimentare cu energie electrică şi a aparatajului de comutație şi protecție.

5. Metodele utilizate de serviciul de predeterminare a sarcinilor electrice

Determinarea prin calcul a puterilor cerute se face prin diferite metode, utilizate în funcție de stadiul proiectării şi nivelul la care se efectuează calculele. Deoarece calculele trebuie efectuate la toate nivelele instalației electrice la consumator, începând de la cele inferioare (receptoare) şi până la cele superioare (racordul de medie sau înaltă tensiune), atât pentru tensiunile joase (sub 1 kV), cât şi pentru cele mai mari de 1 kV, sunt preferabile acele metode care se aplică acoperitor în toate situațiile.

Principalele metode de determinare a sarcinilor electrice (puterilor cerute) în faza de proiectare sunt următoarele [Com83]:

- *metoda coeficienților de cerere*, aplicabilă la orice nivel şi în special pentru grupuri mari de receptoare, reprezentând o secție sau o întreprindere;

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- *metoda analizei directe*, aplicabilă pentru un număr mic de receptoare, la nivelul unor tablouri de distribuție cu plecări puține, inclusiv a tablourilor de utilaj, când se cunosc diagramele de funcționare şi încărcare ale tuturor receptoarelor;
- *metoda formulei binome*, care dă rezultate acoperitoare pentru un grup restrâns de receptoare de forță având puteri mult diferite între ele, fiind recomandată pentru calculul puterilor cerute în special la nivelul tablourilor de distribuție;
- *metodele bazate pe puterea medie şi indicatori ai curbelor de sarcină*, recomandate pentru determinarea puterii cerute la nivelele superioare, de la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare, la liniile de racord în înaltă tensiune.
- *metodele bazate pe consumuri specifice* cu raportare la unitatea de produs sau la unitatea de suprafață productivă, utilizabile, datorită preciziei reduse, numai în faza notei de fundamentare a proiectului;

La instalații existente, puterea cerută (necesară unei eventuale redimensionări a instalației) se determină pe *baza curbelor de sarcină*.

Trebuie menționat că toate aceste metode pot şi uşor implementate în programe de calcul cu un caracter flexibil şi robust, menite să satisfacă în mod riguros serviciul de predeterminare a sarcinii electrice.

5.1 Metoda coeficienţilor de cerere

În cadrul acestei metode, puterea activă cerută se determină prin înmulțirea puterii instalate cu un coeficient subunitar k_c, denumit ***coeficient de cerere***: $P_c = k_c P_i$, iar puterea reactivă cerută Q_C - cu ajutorul ***factorului de putere cerut*** $\cos\varphi_c$: $Q_c = P_c \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_c} - 1} = P_c tg\varphi_c$.

Coeficientul de cerere k_c ține cont de randamentul η al receptoarelor, de gradul de încărcare al acestora (prin coeficientului de încărcare k_i), de simultaneitatea funcționării lor (prin coeficientul de simultaneitate k_S) şi de

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

randamentul η_r al porțiunii de rețea dintre receptoare şi nivelul la care se calculează puterea cerută. Ca urmare, coeficientul de cerere k_c este exprimat prin relația [Com83] : $k_c = \frac{k_i k_s}{\eta \eta_r}$.

Randamentul η al receptoarelor se ia în considerare numai la acele receptoare pentru care puterea instalată P_i sau cea nominală P_n, semnifică puteri utile, cum este cazul motoarelor electrice, la care puterea nominală reprezintă puterea mecanică la arbore.

Factorul de putere cerut, cos φ_c , exprimă consumul de putere reactivă al receptoarelor care absorb puterea activă P_c, în condițiile reflectate global prin coeficientul de cerere.

Coeficienții de cerere şi factorii de putere ceruți sunt determinați experimental pe baze statistice, pentru diferite receptoare. Toate receptoarele cărora le corespund aceleaşi valori pentru perechea de mărimi (k_c, cos φ_c), se încadrează într-o singură grupare, numită categorie de receptoare. Datorită diversității mari a receptoarelor şi a condițiilor de lucru, există un mare număr de categorii de receptoare. Acestea pot fi stocate în fişiere tip baze de date împreună cu valorile corespunzătoare ale coeficientului de cerere şi ale factorului de putere cerut. Figura 2 prezintă, în sinteză, modul automat de determinare a puterii cerute prin metoda coeficienților de cerere.

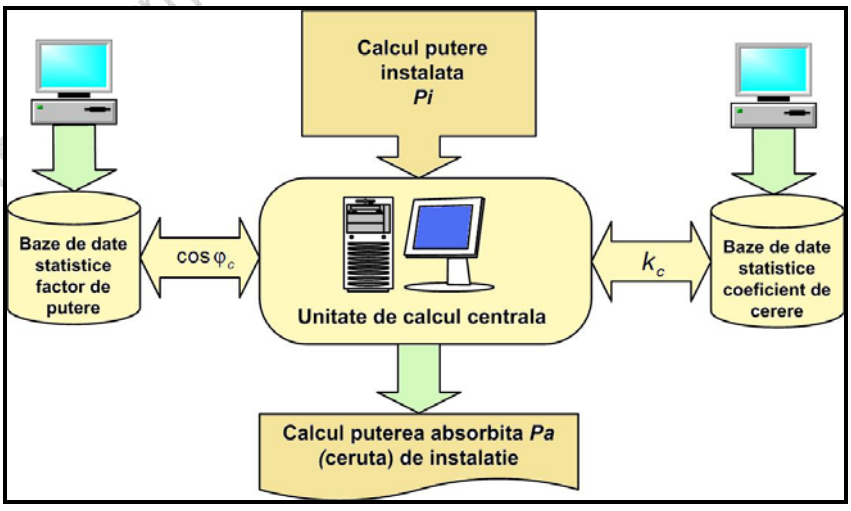


Figura 2. Modul de determinarea puterii cerute prin metoda coeficienților de cerere.

5.2 Metoda analizei directe

Această metoda este recomandată pentru calculul puterii cerute de consumatori de calcul cu un număr redus de receptoare, ale căror diagrame de sarcină sunt cunoscute [Din03, Com83]. Astfel de consumatori sunt:

- tablourile de utilaj;
- tablourile de distribuție cu plecări puține;
- tablourile generale cu un număr redus de plecări la subconsumatori mici sau neindustriali, cu puteri mici, când se cunosc caracteristicile de funcționare ale acestora şi când puterea instalată pentru iluminat reprezintă mai mult de 60...75% din întreaga putere instalată.

Metoda constă în determinarea directă a coeficientului de cerere conform relațiilor prezentate la metoda anterioară, deoarece în astfel de situații, valorile factorilor care intervin pot fi calculate sau apreciate cu o bună aproximație.

Coeficientul de încărcare k_i este dat de relația: $k_i = \frac{P_r}{P_s}$, în care P_r este puterea reală cu care sunt încărcate receptoarele, iar P_s - puterea în funcție simultană; în mod obişnuit k_s = 0,9 ... 0,95.

Coeficientul de simultaneitate este $k_s = \frac{P_s}{P_i}$, în care P_s are semnificația de mai sus, iar P_i este puterea instalată. Pentru consumatori de calcul cuprinzând numai receptoare de iluminat, valorile coeficienților de simultaneitate sunt prezentate în baze de date sub formă tabelară sau monograme; pentru receptoare de forță, aceşti coeficienți se determină pe baza diagramelor de sarcină, din care rezultă valoarea lui P_s, şi a puterii instalate P_i.

Randamentul rețelei η_r se calculează ținând seama de pierderile de putere; în mod obişnuit η_r = 0,98 ... 1, iar randamentul mediu al receptoarelor η se determină ca medie ponderată a randamentelor nominale η_{nj} ale receptoarelor, în raport cu puterile instalate.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Relația de calcul pentru *n* receptoare este : $\eta = \dfrac{\sum_{j=1}^{n} \eta_{nj} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}$, dacă puterile instalate P_{ij} sunt puteri electrice (absorbite) sau $\eta = \dfrac{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} \dfrac{P_{ij}}{\eta_{nj}}}$, dacă acesta se referă la puteri utile (mecanice - cazul motoarelor electrice). Având determinați toți factorii, se calculează coeficientul de cerere cu relația $k_c = \dfrac{k_i k_s}{\eta \eta_r}$, .

Puterea activă cerută se obține, în acest caz, din puterea instalată cu ajutorul coeficientului de cerere: $P_c = k_c P_i$.

Pentru calculul puterii reactive cerute este necesară determinarea factorului de putere mediu cos φ_m al receptoarelor, din condiția de egalitate a puterii aparente de cele *n* receptoare cu puterea aparentă a unui receptor echivalent.

Aceasta conduce la relația: $\cos\varphi_m = \dfrac{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} \dfrac{P_{ij}}{\cos\varphi_{nj}}}$, dacă P_{ij} reprezintă putere electrică absorbită sau $\cos\varphi_m = \dfrac{\sum_{j=1}^{n} \dfrac{P_{ij}}{\eta_{nj}}}{\sum_{j=1}^{n} \dfrac{P_{ij}}{\eta_{nj}\cos\varphi_{nj}}}$, dacă P_{ij} reprezintă putere utilă (mecanică).

Puterea reactivă şi aparentă cerută se determină din relațiile: $Q_c = P_c \sqrt{\dfrac{1}{\cos^2 \varphi_m} - 1}$, $S_c = \dfrac{P_c}{\cos\varphi_m}$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

În Figura 3 se prezintă în sinteză modul automatizat de determinare a puterii cerute prin metoda analizei directe în care sunt apelate bazele de date cu informațiile aferente diverselor clase de consumatori.

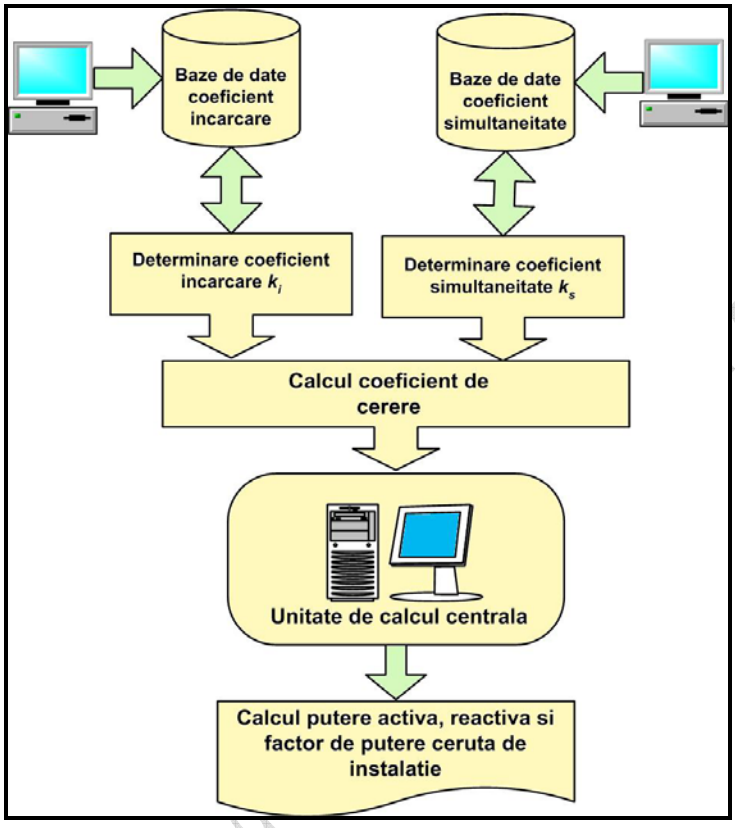


Figura 3. Modul de determinarea puterii cerute prin metoda analizei directe.

5.3 Metoda formulei binome

Se utilizează pentru consumatori de calcul la nivelul unor tablouri de distribuție, conducând la rezultate acoperitoare în ceea ce priveşte puterea cerută.

Conform acestei metode, receptoarele se consideră repartizate pe grupe de receptoare, puterea cerută determinându-se la nivelul grupelor, pe baza puterii instalate P_{ik} a tuturor receptoarelor din grupa k şi a puterii instalate P_{ix} a primelor x receptoare din aceeaşi grupă, luate în ordinea descrescătoare a puterilor lor instalate [Com83].

Puterea activă cerută de cele n_k receptoare din grupa k este: $P_{ck} = (aP_{ix})_k + b_k P_{ik}$, în care a şi b sunt coeficienții formulei binome, iar x numărul de receptoare pentru care se calculează P_{ix}. Aceste date sunt specifice metodei de calcul după formula binomă, fiind indicate baze de date specifice tipurilor de consumatori (industriali sau casnici).

Puterea cerută de cele m grupe de receptoare ale consumatorului de calcul este: $P_c = (aP_{ix})_M + \sum_{k=1}^{m} b_k P_{ik}$, în care $(aP_{ix})_M$ este termenul cu valoarea cea mai mare dintre termenii $(aP_{ix})_k$ iar $\sum_{k=1}^{m} b_x P_{ik}$ este suma tuturor termenilor de forma $b_k P_{ik}$, corespunzători celor m grupe de receptoare.

Puterea reactivă absorbită la nivelul consumatorului de calcul este: $Q_c = \sum_{k=1}^{m} P_{ck} tg\varphi_k$, în care $tg\varphi_k$ reprezintă tangenta corespunzătoare factorului de putere introdus de receptoarele din grupa k, mărime de asemenea indicată în baze de date specifice diverselor tipurilor de consumatori.

Puterea aparentă cerută de întreaga instalație S_c (utilă mai ales în alegerea transformatorului de distribuție MT/JT) şi valoarea medie a factorului de putere se calculează cu relațiile: $S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$, $\cos\varphi = \frac{P_c}{S_c}$.

Fig. 4 prezintă, în sinteză, modul automatizat de determinare a puterii cerute prin metoda formulei binome.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

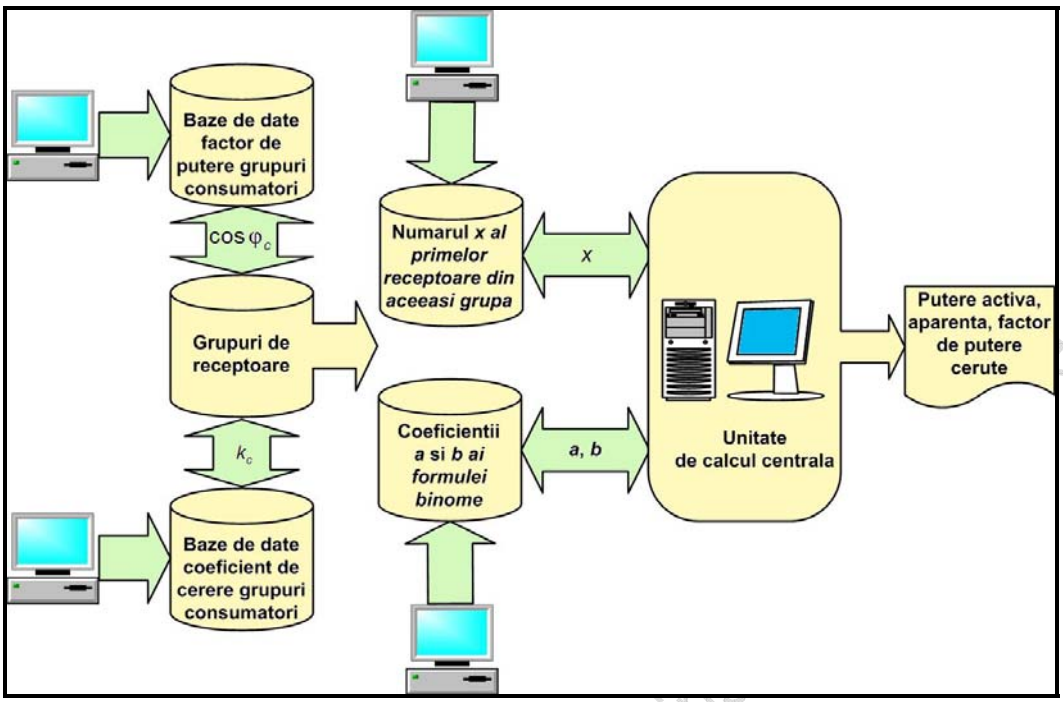


Figura 4. Modul de determinarea puterii cerute prin metoda formulei binome.

5.4 Metodele bazate pe puterea medie şi indicatori ai curbelor de sarcină

Curbele de sarcină prezintă variația în timp a sarcinilor electrice, pe o perioadă determinată.

La consumatori, se deosebesc diferite curbe de sarcină, după felul sarcinii, durata t_c a ciclului la care se referă şi proveniență. După felul sarcinii, se evidențiază curbe de sarcini active şi curbe de sarcini reactive, acestea fiind practic cel mai des întrebuințate. De asemenea se mai înregistrează curbe de sarcină şi pentru puterea aparentă sau pentru curentul absorbit.

După durata t_c a ciclului, pentru care redau variațiile sarcinii, curbele de sarcină pot fi:

- *zilnice*, la care durata ciclului este de 24 h şi dintre care două sunt mai importante, cea caracteristică pentru vară (în intervalul 18-25 iunie) şi cea pentru iarnă (18 - 25 decembrie);
- *anuale*, la care durata ciclului este de 8760 h (12 luni sau 365 zile).

După proveniență se deosebesc următoarele curbe de sarcină [Com83, Atk02]:

- *experimentale*, care sunt foarte precise, obținute prin citirea aparatelor de monitorizare a parametrilor energiei electrice (la momentul actual se poate face înregistrarea simultană a peste a 50 parametri cu o rată de eşantionare de 10 ms);
- *tip*, care sunt obținute prin generalizarea curbelor experimentale, specifice unor ramuri sau subramuri industriale şi prelucrări statistice. Aceste curbe au o importanță deosebită în proiectarea unor noi instalații.

Sarcinile electrice pot fi prezentate pe curbele de sarcină fie în valori absolute, fie în valori raportate la valoarea maximă.

5.4.1 Indicatorii curbelor de sarcină

Consumul de energie electrică conform curbelor de sarcină poate fi caracterizat printr-o serie de mărimi - puteri, durate dar şi o serie de coeficienți adimensionali – numiți *indicatori ai curbelor de sarcină*. Definirea acestor indicatori se face, în cele ce urmează, în legătură cu o curbă de sarcină oarecare, prezentată în Figura 5, în care notațiile s-au făcut numai pentru puteri active; indicatorii referitori la puterile reactive se vor defini în mod similar. Se mai consideră că această curbă de sarcină se referă la un consumator având puterea totală instalată P_i.

Pe parcursul ciclului, având durata t_c, se înregistrează un consum maxim P_M.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

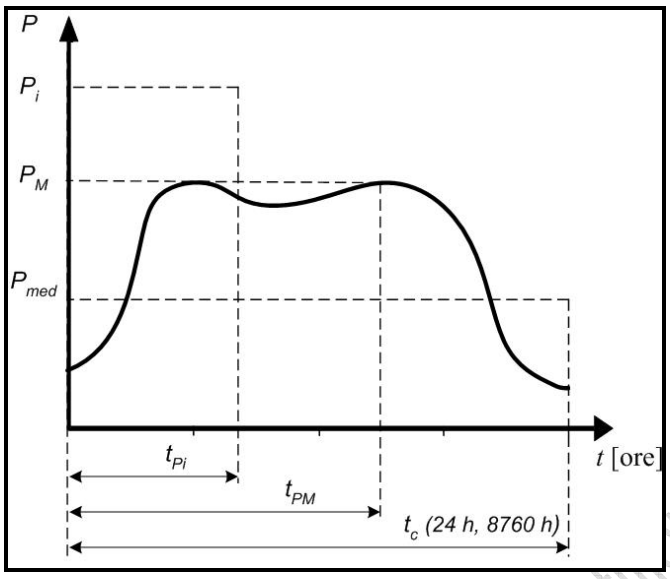


Figura 5. Indicatorii curbelor de sarcină.

Prin planimetrarea curbelor de sarcină se obține consumul de energie activă şi reactivă: $E_a = \int_0^{t_c} P dt = \sum_j P_j \Delta t_j$, $E_r = \int_0^{t_c} Q dt = \sum_j Q_j \Delta t_j$, în care j este indicele de însumare pentru energiile corespunzătoare diferitelor segmente orizontale din curba de sarcină, având ordonatele P_j, respectiv Q_j şi lungimile (duratele) - Δt_j. Aceste calcule se fac, în general, numai pentru curba de sarcină anuală.

a. ***Puterea medie*** este indicatorul cu semnificația unei puteri constante în timp, care ar determina un consum de energie echivalent cu cel real. Puterea activă şi reactivă medie este: $P_{med} = \frac{E_a}{t_c}$, $Q_{med} = \frac{E_a}{t_c}$.

Între valorile caracteristice ale puterii active: instalată, maximă şi medie - există relațiile de inegalitate: $P_{med} < P_M < P_i$

b. ***Duratele de utilizare*** indică în cât timp s-ar produce întreg consumul de energie, dacă s-ar funcționa constant la una din puterile caracteristice. Acestea sunt:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- *duratele de utilizare ale puterilor maxime absorbite*, corespunzătoare unui consum constant, la puterile maxime, având expresiile pentru puterea activă şi pentru puterea reactivă: $t_{pM} = \frac{E_a}{P_M}$, $t_{QM} = \frac{E_r}{Q_M}$.

- *duratele de utilizare a puterilor instalate*, corespunzătoare consumului constant la o putere egală cu cea instalată. Pentru puterea activă şi reactivă instalată se obține durata de utilizare cu relația: $t_{pi} = \frac{E_a}{P_i}$, $t_{Qi} = \frac{E_r}{Q_i}$.

Din definițiile de mai sus, rezultă că pentru energia activă şi reactivă se pot scrie relația de echivalență: $E_a = P_{med} \cdot t_c = P_M \cdot t_{PM} = P_i \cdot t_{pi}$ *şi* $E_r = Q_{med} \cdot t_c = Q_M \cdot t_{QM} = Q_i \cdot t_{Qi}$

c. ***Coeficienții de utilizare*** se obțin prin raportarea puterilor medii la celelalte două valori caracteristice puterii - maximă şi instalată, după cum urmează:

- *coeficienții de utilizare a puterii active şi reactive maxime*: $K_{PM} = \frac{P_{med}}{P_M}$; $K_{QM} = \frac{Q_{med}}{Q_M}$.

Dacă t_c = 24 h, coeficientul de utilizare a puterii active maxime corespunzătoare curbei de sarcină zilnică, se mai numeşte şi *coeficient de umplere sau aplatizare a curbei*, fiind folosit preponderent în calculele de determinare a puterilor transformatoarelor.

- *coeficienții de utilizare a puterii instalate* active şi reactive: $K_{pi} = \frac{P_{med}}{P_i}$, $K_{Qi} = \frac{Q_{med}}{Q_i}$.

Dacă pentru un consumator, reprezentat de o secție sau întreprindere, se cunosc puterea instalată, durata de utilizare a acesteia şi durata de utilizare a puterii maxime, determinarea puterii maxime se poate face cu relația: $P_M = \frac{t_{pi}}{t_{pM}} P_i$. Această putere reprezintă tocmai puterea cerută P_c, deoarece coeficientul mediu de cerere al consumatorului poate fi exprimat ca

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

raportul dintre durata de utilizare a puterii instalate şi cea a puterii maxime: $k_c = \frac{t_{pi}}{t_{pM}}$.

5.5. Metoda bazata pe consumul specific la unitatea de produs sau metoda duratei de utilizare a puterii maxime

Se foloseşte pentru determinarea puterii cerute la nivel de întreprindere sau platformă industrială, atunci când se cunoaşte consumul specific de energie electrică W_0 pe unitatea de producție. Din această cauză, metoda se mai numeşte şi a *consumurilor specifice*. Dacă se notează cu A producția anuală a întreprinderii, în unități de măsură corespunzătoare (tone, metri pătrați, bucăți etc.), consumul anual de energie pentru acest consumator de calcul este: $E_a = W_0 \cdot A$.

În lipsa unor date certe, referitoare la consumul specific de energie electrică pentru produse şi activități industriale, s-au întocmit diverse baze de date [Com83, Atk02]. Puterea cerută P_c se determină cu relația: $P_c = \frac{E_a}{t_{pM}}$, în care t_{pM} re

date obținute experimental [Com83].

6. Serviciul de estimare a sarcinilor electrice în diverse regimuri de funcţionare ale consumatorilor

La baza dimensionării circuitelor de joasă tensiune din instalațiile electrice (alegerea echipamentului electric corespunzător) se află cunoaşterea cât mai exactă a curentului (sarcinii) cerut de consumator în regim normal şi anormal de funcționare.

În cele ce urmează se prezintă estimarea valorii curentului cerut pentru cei mai uzuali consumatori din instalațiile electrice [Nor02, Ghi00, Goi11].

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

6.1 Estimarea curentului de durată

a) Pentru un circuit receptor, drept putere cerută se consideră puterea nominală:

- Receptor monofazat: $I_c = \frac{P_n}{U_{fn}\cos\varphi_n}$, $\cos\varphi_n = 0.8$ şi $U_{fn} = 230$ V: I_c ~ 5 - 6 A/kW.
- Motor monofazat: $I_c = \frac{P_n}{\eta_n U_{fn}\cos\varphi_n}$, $\cos\varphi_n = 0.8$, $\eta_n = 0.8$, $U_n = 400$ V, I_c ~ 7 - 8 A/kW.
- Receptor trifazat: $I_c = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n\cos\varphi_n}$, $\cos\varphi_n = 0.8$ şi $U_n = 400$ V: I_c ~ 2 - 3 A/kW.
- Motor trifazat: $I_c = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n\cos\varphi_n\eta_n}$, $\cos\varphi_n = 0.8$, $\eta_n = 0.8$, $U_n = 400$ V, I_c ~ 2.5 - 3 A/kW.
- Circuit iluminat cu N_l lămpi cu descărcare electrică de putere P_l la care se adaugă puterea consumată de balast P_b: $I_c = \frac{N_l(P_l+P_b)}{U_{fn}\cos\varphi_n} = \frac{N_lP_l}{U_{fn}\cos\varphi_n}\left(1+\frac{P_b}{P_l}\right) = \frac{N_lP_l}{U_{fn}\cos\varphi_n}k$, unde $k = 1.2$ - 1.25 pentru lămpi fluorescente şi 1.1 pentru lămpi cu vapori de mercur şi de sodiu de înaltă presiune.

b) Pentru un circuit utilaj, cu n receptoare care funcționează simultan, curentul de calcul se determină aproximativ ca: $I_c = \sum_{j=1}^{n} I_{cj}$.

c) Coloana de alimentare a unui punct de distribuție se dimensionează pentru un curent de calcul: $I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3}U_n\cos\varphi_c} = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_n}$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

6.2. Curentul de vârf la conectarea receptoarelor (suprasarcină funcţională)

Curentul de vârf *în circuitul unui receptor* este curtentul de pornire I_p sau curentul de vârf propriu receptorului I_v alimentat.

- În cazul unui circuit motor: $I_v = I_p = k_p I_n$; k_p depinde de felul motorului (de curent continuu, asincron, sincron etc.) şi de schema de pornire ; astfel k_p = 6, la motoare asincrone cu rotorul în scurt-circuit, la pornirea directă; k_p= 2-2,25 pentru motoare asincrone cu rotorul bobinat sau motoare de curent continuu
- Pentru transformatoare de sudură sau cuptoare electrice cu arc: $I_v = (2 \div 3) I_n$, curentul nominal fiind raportat la durata relativă de conectare DA_n= 1.
- La conectarea lămpilor cu incandescență: $I_v = (15 \div 20) I_n$.
- La conectarea directă a unui transformator de JT/JT: $I_v = (20 \div 40) I_n$
- La conectarea unei sarcini capacitive: $I_v = (3 \div 10) I_n$
- În cazul unei coloane de tablou, se consideră că se conectează receptorul cu puterea cea mai mare (curentul de vârf cel mai mare), restul receptoarelor fiind în funcțiune, la sarcina cerută: $I_v = I_{p\max} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{ci}$, $I_{p\max}$ fiind curentul de pornire al receptorului cu puterea cea mai mare.

6.3 Curentul de scurtcircuit

Curentul electric de scurtcircuit este acel curent electric de defect (avarie) care apare în urma contactului prin intermediul unei impedanțe neglijabile a unui conductor de fază cu conductorul neutru sau pământul (scurtcircuit monofazat), a unui conductor de fază cu alt conductor de fază (scurtcircuit bifazat) sau toate cele trei conductoare de fază (scurtcircuit trifazat). Scurtcircuitul se poate produce, cel mai frecvent din următoarele cauze: manevre greşite în instalațiile electrice, defectul izolației conductoarelor, prezența unui corp străin, bun conductor electric, pe două

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

sau mai multe conductoare (de regulă pe barele tablourilor electrice) sau datorită absenței mentenanței predictive în instalație (capabilă să prevadă şi să înlăture potențialele defecte care să degenereze în scurtcircuit).

În Figura 6 este prezentată schema electrică echivalentă a scurtcircuitului trifazat (cazul cel mai defavorabil posibil) împreună cu variația în timp a parametrilor acestuia în cazul unei rețele de alimentare este legată la pământ.

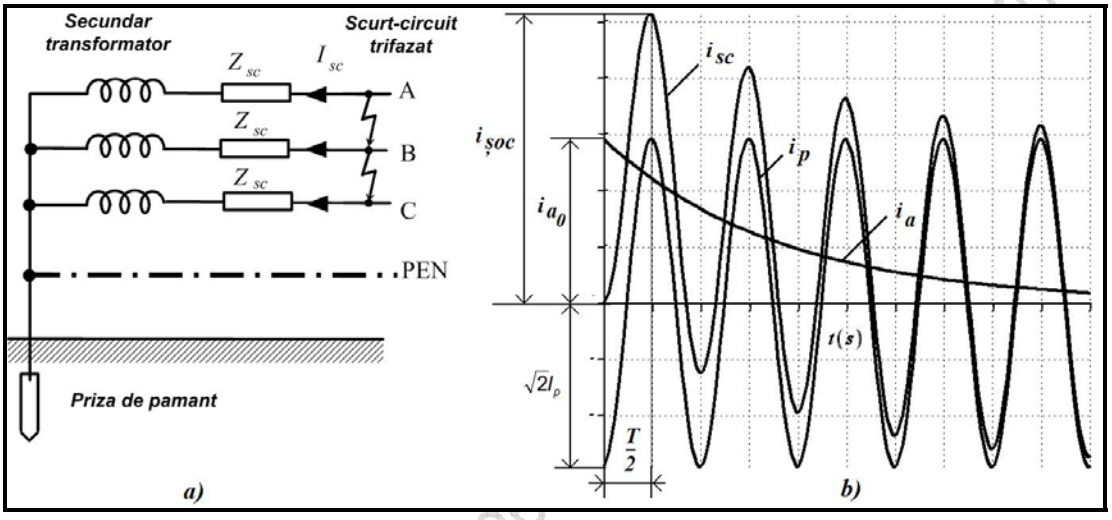


Figura 6. Apariția curentului de scurtcircuit trifazat a) şi principalele lui caracteristici b).

Cunoaşterea valorilor curenților de scurtcircuit este deosebit de importantă pentru dimensionarea şi verificarea aparatajului de comutație şi de protecție şi a conductoarelor din rețea. Valoarea de regim permanent a curentului de scurtcircuit (curentul de scurtcircuit prezumat) impune una din cele mai importante caracteristici ale aparatelor de comutație şi protecție: ***capacitatea (puterea) de rupere*** **a aparatului electric** (exprimată cel mai des în **kA**) [Sch07].

Astfel, aparatele electrice trebuie să aibă o putere de rupere superioară curentului de scurtcircuit prezumat în punctul din instalație în care sunt montate. Pentru estimarea valorilor acestor curenți de scurt circuit prezumați se recurge de cele mai multe ori la metode aproximative, justificate şi de faptul că datele şi condițiile care stau la baza calculelor nu sunt exacte. În instalațiile de joasă tensiune ale consumatorului se are în vedere cazul ce mai defavorabil al scurtcircuitului trifazat simetric.

Calculul curentului se face în ipoteza acoperitoare că transformatorul de alimentare este alimentat la o sursa de putere infinită, a cărei tensiune rămâne constantă în cursul procesului de scurtcircuit. În acest caz, tensiunea de calcul este tensiunea de mers în gol a transformatorului (380 sau 400 V) şi rămân de considerat numai impedanța transformatorului şi ale liniilor până la locul defectului.

În momentul producerii scurtcircuitului, curentul are, în general două componente: o componentă periodică i_p (cu valoare efectivă I_p) şi o componentă aperiodică i_a (de valoare inițială i_{a0}) care se amortizează relativ repede în funcție de constanta de timp a circuitului - Fig. 6 b). Expresia în timp a curentului de scurtcircuit este dată de o relație de forma [Din03, Atk02]:

$$i = i_p + i_a = \hat{I}_p \left[\sin(\omega t - \alpha) + \sin\alpha \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \right], \text{ cu } I_p = I_{sc} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{sc}} = \frac{U}{\sqrt{3}\sqrt{R_{sc}^2 + X_{sc}^2}},$$

în care s-a notat $\hat{I}_p = \sqrt{2} I_p$, amplitudinea curentului în serviciu permanent, $\alpha = \varphi - \psi$, $\psi = \arctan\frac{X_{sc}}{R_{sc}}$ - unghiul de conectare (evaluat față de trecerea prin zero a tensiunii), φ faza inițială a tensiunii iar $T_a = \frac{L_{sc}}{R_{sc}}$ este constanta de timp electrică a circuitului.

Valoarea componentei periodice a curentului de scurt circuit I_p, care serveşte la verificarea termică a rețelei, depinde de tensiunea rețelei U şi de impedanța pe fază a acesteia $Z_{sc} = \sqrt{R_{sc}^2 + X_{sc}^2}$ pe calea de curent între sursa de alimentare şi locul apariției scurtcircuitului, inclusiv de impedanța transformatorului.

De remarcat faptul că, în prima semiperioadă, curentul electric de scurtcircuit are cea a mai mare valoare, numită *curent electric de şoc* : $i_{soc} = \sqrt{2} \cdot I_{sc} \cdot k_{soc}$, în care $k_{şoc}$ se numeşte ***factor de lovitură*** (sau de şoc) şi are valori cuprinse între *1 - 2* în funcție de faza tensiunii rețelei electrice, în momentul în care apare scurtcircuitul. În practică se alege o valoare

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

acoperitoare de 1.8, rezultând astfel un curent de scurtcircuit de lovitură de $i_{soc} = 2.5 \cdot I_p$.

Valoarea maximă a curentului electric de şoc este necesară pentru ***verificarea la stabilitate dinamică*** a elementelor rețelei (calculul mecanic al barelor din tablourile electrice generale)

Se apreciază că un echipament electric este stabil termic la trecerea curentului electric de scurtcircuit dacă curentul electric de scurtcircuit determină o căldura mai mică decât cantitatea de căldură care poate fi acumulată de echipament, fără ca acesta să se deterioreze sau decalibreze. Producătorii de echipamente indică curentul (I_∞) şi timpul (t_f) cât acest curent electric poate fi suportat de echipament. ***Stabilitatea termică la scurtcircuit***, pentru un echipament electric, este îndeplinită dacă se respectă condiția: $I_\infty^2 \cdot t_f \geq I_{sc}^2 \cdot t_a$, în care t_a este timpul de acționare al echipamentului prevăzut în circuit pentru protecție la scurtcircuit.

7. Serviciul de dimensionare a circuitelor din instalaţiile electrice generale

7.1 Dimensionarea circuitelor pentru alimentarea instalaţiilor de iluminat, prize şi putere

La modul cel mai general, orice instalație electrică conține circuite electrice de iluminat, circuite pentru prize electrice şi circuite de putere sau forță - Figura 7. În cele ce urmează vom puncta principalele elemente de dimensionare a echipamentelor aferente acestor circuite pornind de la curentul cerut (de calcul) şi ținând cont de prescripțiile menționate în normativele actuale [Art10, Gol10, Nor02].

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

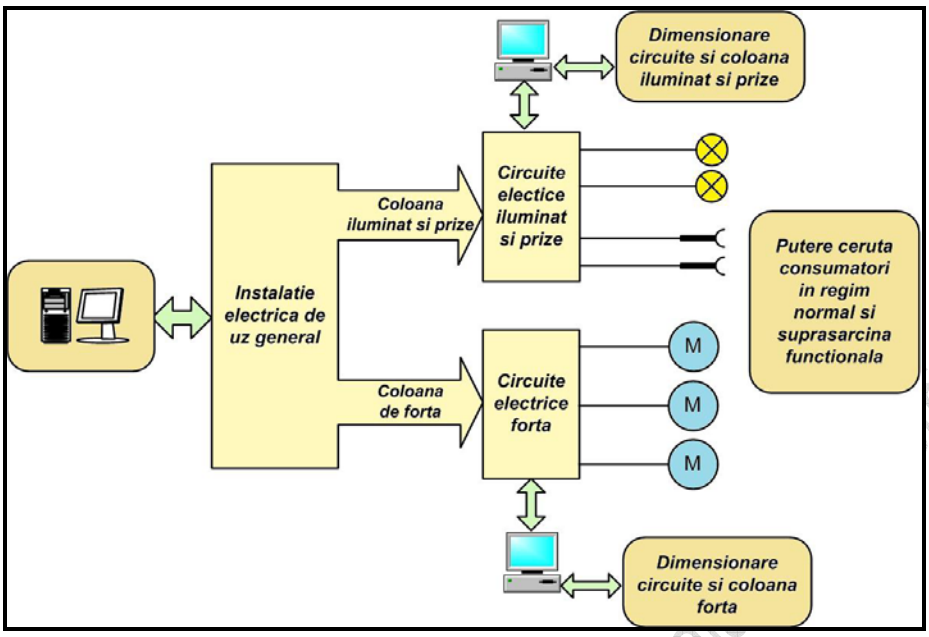


Figura 7. Instalația electrică de uz general.

7. 1.1 Serviciul de calculul al circuitelor de iluminat

Circuitele de iluminat asigură alimentarea corpurilor de iluminat electric**.** Pe un circuit monofazat, conform normativelor actuale [Nor02], se pot monta corpuri de iluminat cu o putere ce nu poate depăşi 3 kW pe un circuit monofazat, iar pe un circuit trifazat 8 kW. Excepție fac circuitele din locuințe, unde puterea pe circuit nu poate depăşi 1.5 kW. De regulă, puterea unui circuit monofazat este de aproximativ 1-1.2 kW şi chiar mai mică.

În general se cunosc puterea instalată P_i , factorul de putere cosφ şi modul de alimentare: monofazat sau trifazat. Calculul presupune următoarele etape:

a) Se determină curentul electric de calcul I_c pentru circuitele monofazate respectiv trifazate cu relațiile: $I_c = \frac{P_i}{U_{fn} \cdot \cos\varphi}$, ; $I_c = \frac{P_i}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}$

În relațiile de mai sus s-a luat în considerare faptul că receptoarele pentru iluminatul electric absorb un curent electric practic sinusoidal (factorul de putere $PF \cong \cos\varphi$). În instalațiile obişnuite U_{fn} = 230 V şi U_n = 400 V. În calculele practice, pentru lămpile cu descărcări în vapori metalici se poate considera cosφ = 0,93 ··· 0,95, dacă producătorul nu indică alte valori .

b) Se alege echipamentul de protecție:

- siguranță fuzibilă cu $I_F \geq I_c$, din gama de siguranțe fuzibile sau
- întrerupător automat (disjunctor) cu $I_d \geq I_c$, unde I_d este curentul electric nominal al întrerupătorului automat (disjunctorului).

c) Se alege aria secțiunii transversale a conductoarelor din următoarele condiții:

- aria minimă a secțiunii transversale este 1,5 mm^2 pentru cupru şi 2,5 mm^2 pentru aluminiu;
- curentul maxim admisibil al secțiunii I_{ma} în funcție de tipul de conductor, numărul de conductoare şi modul de montare (în pământ, în tub de protecție, în aer), temperatura ambiantă – trebuie să respecte condiția: $I_{ma} \geq I_c$.

Dacă protecția se face cu siguranță fuzibilă mai este necesar de îndeplinit şi condiția: $I_{ma} \geq \frac{I_f}{K}$, în care K = 1 pentru circuite ce alimentează lămpi cu descărcări în vapori metalici şi K = 0,8 pentru circuite ce alimentează lămpi cu incandescență.

Pentru conductorul neutru (de lucru) se alege aceeaşi arie a secțiunii transversale cu cea a conductorului de fază.

Conductorul de protecție (dacă este necesar) se execută numai din cupru şi are aceeaşi arie a secțiunii transversale cu cea a conductorului de fază, când acesta este din cupru şi aria secțiunii transversale a fazei, inferioară cu o treaptă, atunci când faza se execută din aluminiu.

d) Se alege diametrul tubului de protecție, atunci când circuitul se execută din conductoare izolate.

7. 1.2 Serviciul de calculul al circuitelor de prize

Circuitele pentru prize asigură alimentarea uneia sau a mai multor prize. Puterea unui circuit de prize este de 2 kW [Nor02]. Numărul de prize este stabilit de proiectant în funcție de destinația acestora şi puterile receptoarelor ce vor fi alimentate din acestea. Dacă receptorul are o putere,

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

mai mare de 2.5 kW acestea vor fi alimentate dintr-o priză special destinată sau prin racord direct.

Acoperitor se pot considera un factor de putere cosφ = 0,8 şi η = 0,8 (randamentul echipamentelor alimentate din priză), deoarece rareori se cunosc utilizările acestor prize în faza de proiectare. Totodată, normativele [Nor02] prevăd ca aria minimă a secțiunii transversale, pentru circuitele de priză, să fie de 2,5 mm^2 , când acestea sunt din Cu (cu I_{ma} = 24 A pentru conductoare şi I_{ma} = 27 A pentru cabluri) sau 4 mm^2 , când sunt din Al (cu I_{ma} = 23 A pentru conductoare) .

Curentul electric de calcul pentru prizele monofazate este dat de relația: $I_c = \frac{P_i}{U_{fn} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} \cdot$ În acest caz rezultă I_c= 13,6 A, astfel că circuitele de priză au siguranțe cu I_F = 16 A sau disjunctor cu I_d = 16 A.

Prizele trifazate sunt utilizate în industrie sau pentru alimentarea unor receptoare trifazate din spațiile tehnice. Calculul acestora se face în mod similar folosind însă relația de calcul a curentului cerut pentru receptoare trifazate.

7.1.3 Serviciul de calculul al coloanelor tablourilor de iluminat şi prize (trifazate)

Coloanele electrice sunt părți ale instalațiilor electrice care asigură alimentarea cu energie electrică a tablourilor electrice. Fiecare tablou de iluminat şi prize este caracterizat de :

- puterea instalată în receptoarele de iluminat P_{il} şi de factorul de putere cosφ$_l$.
- puterea instalată pentru prize P_{ip}, de factorul de putere cosφ$_p$ şi de randamentul echipamentelor conectate η$_p$. Atunci când mărimile cosφ$_p$ şi η$_p$ nu se cunosc se poate lua în calcul: cosφ$_p$ = 0,8 şi η$_p$ = 0,8.

Cele două puteri adunate nu au nici o relevanță din punct de vedere al calculului, întrucât au factori de putere mult diferiți .

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Pentru determinarea ariei secțiunii transversale a conductoarelor, a aparatelor de protecție şi de acționare ale coloanei se parcurg următoarele etape:

a) Se determină curentul de calcul al coloanei: $I_c = \sqrt{I_{ca}^2 + I_{cr}^2}$, în care I_{ca} şi I_{cr} sunt componenta activă şi, respectiv reactivă ale curentului electric de calcul al coloanei:

$$I_{ca} = I_{al} + I_{ap} = \frac{P_{il}}{\sqrt{3} \cdot U} + \frac{P_{ip}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta_p}; \quad I_{cr} = I_{rl} + I_{rp} = I_{al} \cdot \tan\varphi_l + I_{ap} \cdot \tan\varphi_p ,$$

în care I_{al} şi I_{ap} sunt componentele active pentru receptoarele de iluminat şi prize, I_{rl} şi I_{rp} – componentele reactive pentru aceleaşi receptoare.

În situațiile în care tabloul electric are un număr mare de circuite (peste 20) şi o putere instalată totală de peste 30 kW, în relațiile de mai sus se pot introduce şi factori de simultaneitate pentru receptoarele de iluminat şi prize. Aceştia trebuie apreciați (de către proiectant sau tehnolog) în funcție de destinațiile circuitelor din tablou.

b) Se alege aria secțiunii transversale a conductoarelor de fază (s_f), din condiția $I_{ma} \geq I_c$., ştiind că coloana are patru conductoare active.

Aria secțiunii transversale a conductorului neutru de lucru (s_N) se stabileşte astfel: până la arii ale secțiunii transversale de 25 mm^2, se alege $s_N = s_f$;pentru arii mai mari ale secțiunii transversale, se alege $s_{Ng} = f(s_f)$, în conformitatea cu normativele în vigoare [Nor02] (de regulă $s_N \cong 0{,}5 \cdot s_f$) .

Aria secțiunii transversale a conductorului de protecție (s_{PE}) se stabileşte astfel: $s_{PE} = s_N$ dacă conductorul neutru (deci şi fazele) este din cupru; s_{PE} (numai din cupru) este cu o treaptă, pe scara ariei secțiunilor transversale, mai mic decât aria s_N când conductorul neutru (deci şi fazele) este din aluminiu .

Se alege apoi echipamentul de protecție, amplasat în tabloul general, principal sau secundar. Acesta poate fi siguranțe fuzibile sau disjunctor. În ultimul timp este însă preferată utilizarea aproape exclusivă în instalațiile de joasă tensiune a întrerupătoarelor automate (disjunctoare).

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

7.1.4 Serviciul de calculul al coloanelor tablourilor de putere

Tablourile de putere alimentează „*m*" receptoare, dintre care „*n*" sunt în funcțiune simultană. Simultaneitatea este apreciată de tehnolog sau proiectantul instalației. Pentru fiecare dintre receptoare se cunosc: P_i – puterea instalată (putere mecanică), η_i – randamentul şi factorul de putere $\cos\varphi_i$ (se face, într-o primă aproximare, ipoteza unui curent electric apropiat de o formă sinusoidală).

Se determină pentru fiecare din receptoare componenta activă şi reactivă a curentului electric, pentru receptorul *i* cu relațiile: $I_{ca\,i} = \dfrac{P_i}{\sqrt{3}\cdot U\cdot \eta_i}$

$I_{ca\,r} = I_{ca\,i}\cdot \tan\varphi_i$.

Curentul electric de calcul al coloanei se determină cu relația $I_c = \sqrt{I_{ca}^2 + I_{cr}^2}$, pentru toate cele *n* receptoare: $I_{ca} = \sum_{i=1}^{n} I_{ca\,i}$; $I_{cr} = \sum_{i=1}^{n} I_{cr\,i}$.

9.1.5 Serviciul de calculul al coloanelor tablourilor principale şi ale tabloului general

Curentul electric de calcul al unei astfel de coloane se determină cu relația:

$$I_c = \sqrt{I_{ca}^2 + I_{cr}^2}, \quad \text{unde: } I_{ca} = c_s \cdot \sum_{i=1}^{n} I_{ca\,i}\ ; \quad I_{cr} = c_s \cdot \sum_{i=1}^{n} I_{cr\,i}\ ,$$

în care *n* este numărul de coloane alimentate din tabloul principal sau general, I_{cai} şi I_{cri} – componentele activă şi reactivă ale curentului electric de calcul al coloanei „*i*", alimentată din tabloul principal sau general; c_s – factor de simultaneitate.

Factorul de simultaneitate este apreciat de tehnologul construcției (în special când tablourile aparțin unei construcții industriale) sau de proiectant în colaborare cu proiectanții de utilități (termice, hidraulice, ventilare etc.) deservite de tablourile în discuție.

Siguranțele fuzibile pot fi alese pentru:

- a sigura protecția la suprasarcină a conductoarelor, din condiția: $I_F \le I_{ma}$;

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- a asigura protecția la scurtcircuit a conductoarelor, din condiția: $I_F \leq 3 \cdot I_{ma}$.

Condiția dată de protecția la suprasarcină se impune atunci când există posibilitatea de suprasarcină pe circuitele tabloului electric, iar proiectantul are puține informații despre destinația acestora.

Siguranța fuzibilă pe coloana unui tablou electric trebuie să îndeplinească şi *condiția de selectivitate în protecție*. Astfel, curentul electric I_F al siguranței coloanei trebuie să fie cu două trepte mai mare decât cea mai mare valoare I_F a circuitelor tabloului .

Siguranța fuzibilă poate fi înlocuită cu un întrerupător automat (disjunctor). Acesta oferă protecție la suprasarcină, scurtcircuit şi opțional protecție diferențială. De asemenea, asigură şi întreruperea coloanei în caz de necesitate.

Alegerea disjunctorului se face respectând următoarele condiții :

- curentul electric nominal I_d al disjunctorului să fie mai mare decât curentul electric de calcul al coloanei: $I_d \geq I_c$;
- reglarea releului termic să se poată face la valoarea curentului electric I_c ;
- disjunctorul trebuie să declanşeze la orice scurtcircuit care s-ar produce pe coloană; pentru aceasta, se va determina curentul electric de scurtcircuit prezumat, dacă defectul s-ar produce la sfârşitul coloanei (în sensul de transport al energiei electrice) şi se alege disjunctorul cu curba de declanşare adecvată B, C sau D în funcție de poziția acestuia în schema electrică [Sch07].

7.2 Serviciul stabilire a protecţiei instalaţiilor electrice de joasă tensiune

Protecția pe circuitele şi coloanele instalațiilor electrice de joasă tensiune se realizează în mod obligatoriu ***la scurtcircuit*** şi ***la suprasarcină*** pe toate plecările din tablourile electrice.

În funcție de siguranța în exploatare se pot asigura şi alte protecții cum ar fi protecție la: întreruperea conductorului neutru (prevăzută pe

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

branşamente pentru a evita transformarea rețelei legată la pământ în rețea izolată), reducerea tensiunii de alimentare, de regulă sub 85% (prevăzută pe circuitele de alimentare a motoarelor), dispariția tensiunii rețelei de alimentare, curent electric maxim pe circuitul de alimentare şi altele.

a) Protecţia la suprasarcină se realizează cu:

- ***relee termice*** care funcționează pe principiul bimetalului. Acesta poate fi un aparat de sine stătător, de regulă trifazat sau poate fi montat într-un disjunctor – mono, bi, tri sau tetrapolar. Menționăm că la data actuală s-au dezvoltat foarte mult releele electronice, care, pot înlocui releele termice clasice şi în plus au numeroase avantaje față de acestea (fiabilitate crescută, precizie, pot monitoriza şi alți parametrii non-electrici)
- ***termistoare*** care sunt elemente semiconductoare ceramice ce îşi modifică substanțial rezistența electrică, la o anumită temperatură. Pentru protecția la suprasarcină sunt utilizate termistoare la care rezistența electrică creşte cu temperatura.
- ***siguranțe fuzibile***, ce fi folosite pentru protecție la suprasarcină dacă se îndeplinesc condițiile :
  - curentul electric al fuzibilului (I_F) trebuie să fie mai mare decât curentul electric nominal al circuitului de protejat, dar în apropierea acestuia: $I_n < I_F \leq 1{,}1 \cdot I_n$;
  - curentul electric al fuzibilului (I_F) mai mic decât curentul maxim admisibil al secțiunii conductorului, în condițiile în care acesta este montat.

b) Protecţia la scurtcircuit se realizează prin:

- siguranțe fuzibile; curentul electric al fuzibilului (I_F) trebuie să îndeplinească condiția: $I_F \leq 3 \cdot I_{ma}$, unde I_{ma} este curentul electric maxim admisibil al conductorului, corespunzător condițiilor în care acesta este montat şi temperatura ambiantă.
- relee electromagnetice, care, constructiv se pot prezenta ca un echipament independent, cunoscut sub denumirea improprie, de „sigu-

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

ranță automată"; şi se execută pentru curenți electrici de până la 25 A inclusiv sau un echipament montat într-un întrerupător automat disjunctor.

Trebuie subliniat însă că deşi încă larg întâlnită, protecția cu siguranțe fuzibile nu mai este utilizată în instalațiile noi decât în cazuri speciale, fiind preferate disjunctoarele.

7.3 Serviciul de evaluare a căderilor de tensiune în instalaţii de joasă tensiune

Receptoarele electrice sunt dimensionate pentru anumite valori ale tensiunii rețelei. În timpul funcționării, tensiunea rețelei poate varia în limitele stabilite de normative [Nor02]:

- *Pentru receptoare de iluminat* se admite ca aceasta să fie de maxim $\Delta U_{max} = 3\%$ între cofretul de branşament şi cel mai îndepărtat corp de iluminat sau cel mai dezavantajos amplasat (pe un traseu cu puterea electrică mare). Dacă alimentarea se face dintr-un post de transformare, căderea de tensiune nu trebuie să depăşească $\Delta U_{max} = 8\%$.

La căderi de tensiune mai mari, fluxul luminos al lămpilor scade pronunțat, astfel că nivelul de iluminare din încăpere scade (cu 18 - 20% în cazul lămpilor incandescente şi cu 10 - 12% în cazul lămpilor fluorescente) şi nu se mai asigură confortul luminos inițial proiectat.

- *Pentru restul receptoarelor* (de ex. motoare), în funcție de puterea nominală, căderile de tensiune admise sunt cele specificate de producător, dar acestea nu pot depăşi în nici o situație valorile:
  - $\Delta U_{max} = 5\%$ când alimentarea se face dintr-un cofret de branşament;
  - $\Delta U_{max} = 8\%$ când alimentarea se face dintr-un post de transformare .

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Producătorul trebuie să indice şi căderea de tensiune maximă acceptată în regimul de pornire al motoarelor $\Delta U_{max\,p}$. Când aceste date lipsesc se va considera ca limită a căderii de tensiune $\Delta U_{max\,p} = 12\%$.

- *Pentru motoarele care antrenează lifturile*, se impune ca valoarea maximă a căderii de tensiune la pornire să nu depăşească $\Delta U_{max\,p} = 3\%$, indiferent de unde sunt alimentate .

În cazul cel mai general al circuitele trifazate inductive, căderea de tensiune datorată unui receptor cu caracteristică liniară, se determină cu relația [Din03]:

$$\Delta U = \frac{100}{U^2} \cdot (r \cdot P + x \cdot Q) \quad [\%],$$

în care r şi x sunt rezistența şi, respectiv, reactanța circuitului iar P şi Q sunt puterile activă şi, respectiv reactivă absorbite de receptor.

Dacă receptorul este un motor trifazat asincron: $P = P_i/\eta$, în care P_i este puterea instalată (puterea mecanică la ax), iar η – randamentul motorului. În cazul unui receptor trifazat cu caracteristică liniară, puterea reactivă poate fi determinată din relația $Q = P \cdot \tan\varphi$, (în circuitele cu caracteristică liniară cosφ corespunde factorului de putere al receptorului).

Pentru circuitele cu rezistența mare față de reactanță (conductoarele de secțiune până în s = 25 mm^2), relația de calcul a căderii de tensiune se poate scrie sub forma aproximativă:

$$\Delta U = \frac{100}{U^2} \cdot r \cdot P = \frac{100}{\gamma \cdot U^2} \cdot \frac{P \cdot l}{s} \quad [\%]$$

în care γ este conductivitatea conductoarelor (pentru cupru $\gamma = 54 \cdot 10^6$ 1/Ωm şi pentru aluminiu $\gamma = 34 \cdot 10^6$ 1/Ωm); U = 400 V– tensiunea de linie; l – lungimea circuitului pe care se circulă puterea P ; s – aria secțiunii transversale a conductoarelor tronsonului.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

În cazul coloanelor trifazate, căderea de tensiune se calculează cu relația de mai sus în care P este puterea activă transportată pe coloană $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{ca}$, cu I_{ca} componenta activă a curentului electric din coloană.

În cazul coloanelor monofazate pentru tablouri de iluminat, căderea de tensiune se poate calcula cu relația: $\Delta U = \frac{2}{\gamma \cdot U_{fn}^2} \cdot \frac{P \cdot l}{s} \cdot 100 \quad [\%]$, în care P este puterea activă transportată pe coloană.

Puterea se determină ca fiind:

- puterea instalată P_i a tabloului, când acesta alimentează numai receptoare de iluminat;
- $P = U_f \cdot I_{ca}$, atunci când tabloul alimentează atât circuite de iluminat, cât şi circuite pentru prize, iar I_{ca} este componenta activă a curentului electric din coloană.

În sinteză alegerea secțiunii conductoarelor urmează următorul algoritm:

- alegerea inițială, pe baza solicitării termice în regim normal de funcționare, ținând seama, după caz şi de supracurenții funcționali;
- verificarea mecanică:
  - secțiuni minime admise pe anumite tronsoane ale rețelei sau impuse din considerente constructive
  - solicitări la scurtcircuit (mai ales pentru distribuția în bare conductoare unde forțele electrodinamice pe durata scurtcircuitului sunt semnificative)
- verificarea la căderea de tensiune în rețea, pe traseul de la postul de transformare la fiecare receptor, atât în serviciul de durată cât şi în prezență supracurenților funcționali, se scurtă durată
- verificarea la valoarea minimă a impedanței rețelei, care limitează curentul de defect

Alegerea secțiunii conductorului se face în baza următorului algoritm de calcul:

a) Pentru sarcină constantă

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Se alege acea secțiune pentru care încărcarea, exprimată prin curentul de calcul al circuitului, este inferioară curentului maxim admisibil corespunzător, în condiții reale de exploatare. În acest scop se folosesc baze de date cu valori ale curentului maxim admisibil şi cu factorii de corecție respectivi: $I_{ma} \geq I_c \rightarrow s$.

b) În prezența sarcinilor de vârf – supracurenți funcționali. Secțiunea determinată anterior trebuie să satisfacă, concomitent şi condiția: $j_v \leq j_{vma} \rightarrow s \geq \frac{I_v}{j_{vma}}$

Pentru densitatea admisibilă a curentului de vârf j_{vma} se folosesc frecvent în practică 20 A/mm^2 pentru aluminiu şi 35 A/mm^2 pentru cupru, care sunt acoperitoare pentru cele mai dificile situații. Implementarea algoritmului descris anterior pentru o istalație de uz general poate fi descris în următoarele relații de calcul:

1. Alegere secțiune pentru regim normal încălzire

$I_C \Rightarrow baze\ de\ date \Rightarrow I_{ma} \Rightarrow s_1$

2. Verificare încălzire secțiune în regim de suprasarcină funcțională (ex. pornire motoare):

$$I_v = k_p I_c;\ j_v = \frac{I_v}{s_2} < j_{ma} \Rightarrow s_2 > \frac{I_v}{j_{ma}};$$

3. Verificare cădere de tensiune regim normal:

- Circuite trifazate:

$$\Delta U(\%) = \frac{100}{\gamma \cdot U_n^2} \cdot \frac{P \cdot l}{s_3} < \Delta U_{\max}(\%) \quad \Rightarrow s_3 > \frac{100}{\gamma \cdot U_n^2} \cdot \frac{P \cdot l}{\Delta U_{\max}(\%)}$$

- Circuite monofazate sau bifazate:

$$\Delta U(\%) = \frac{100}{\gamma \cdot U_{fn}^2} \cdot \frac{2 \cdot P \cdot l}{s_3} < \Delta U_{\max}(\%) \quad \Rightarrow s_3 > \frac{100}{\gamma \cdot U_{fn}^2} \cdot \frac{2 \cdot P \cdot l}{\Delta U_{\max}(\%)}$$

4. Verificare la cădere de în regim de suprasarcină funcțională (ex. pornire motoare):

- Circuite trifazate

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

$$\Delta U(\%)_p = \frac{100}{\gamma \cdot U_n^2} \cdot \frac{k_p \cdot P \cdot l}{s_4} < \Delta U_{\max p}(\%) \quad \Rightarrow s_4 > \frac{100}{\gamma \cdot U_n^2} \cdot \frac{k_p \cdot P \cdot l}{\Delta U_{\max p}(\%)}$$

- Circuite monofazate sau bifazate

$$\Delta U(\%)_p = \frac{100}{\gamma \cdot U_{fn}^2} \cdot \frac{2 \cdot k_p \cdot P \cdot l}{s_4} < \Delta U_{\max p}(\%) \quad \Rightarrow s_4 > \frac{100}{\gamma \cdot U_{fn}^2} \cdot \frac{2 \cdot k_p \cdot P \cdot l}{\Delta U_{\max p}(\%)}$$

Din punct de vedere al stabilității termice şi al căderii de tensiune secțiunea se va alege ca fiind: $s = \max(s_1, s_2, s_3, s_4)$.

8. Serviciul de dimensionare a transformatorului de alimentare [Gol10]

Transformatoarele de putere reprezintă elementul principal al unei stații electrice sau a unui post de transformare. Acestea sunt caracterizate în principal prin: puterea nominală S_n [kVA], tensiunile nominale din primar şi din secundar, schema de conexiune a înfăşurărilor în circuit trifazat (stea, triunghi, zig-zag) grupa de conexiuni (un număr cuprins între 0 şi 12 corespunzător raportului între unghiul format de fazorii similari din primarul şi din secundarul transformatorului – maxim 360° – şi unghiul de 30°).

Stabilirea numărului, parametrilor şi puterii transformatoarelor din posturile de transformare se face pe baza unor calcule tehnico-economice şi are o influență importantă asupra indicatorilor tehnici şi economici ai consumatorului (întreprinderii). La alegerea puterii transformatoarelor din posturile de transformare trebuie să fie avute în vedere următoarele aspecte:

- graficul de sarcină zilnic şi anual;
- posibilitățile de extindere a consumului în viitorul apropiat;
- reducerea costurilor de mentenanță prin utilizarea unui număr cât redus de tipuri de echipamente;
- posibilitatea de rezervare;
- capacitatea de suprasarcină;
- fiabilitatea în funcționare.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Din motive practice, în stațiile electrice şi în posturile de transformare nu se folosesc mai mult de două transformatoare; în general, se folosesc două transformatoare dacă schema este realizată cu bară colectoare secționată. În acest caz, cele două transformatoare au putere şi caracteristici tehnice identice.

Fiabilitatea ridicată a transformatoarelor actuale face ca schema de funcționare cu două transformatoare conectate în paralel, din motive de siguranță în alimentare, să nu mai fie utilizată. Durata de viață a unui transformator depinde în mare măsură de regimul termic al acestuia, asigurat de sistemul de răcire. În acest sens, trebuie avută în vedere o capacitate mai redusă de încărcare pe durata intervalelor de timp cu temperatură ridicată.

O metodă de selecție a puterii nominale a unui transformator se bazează pe parametrii graficelor de sarcină ale consumatorului: puterea maximă anuală şi a duratei t_{pM} de utilizare a puterii maxime, pentru zona alimentată: $t_{PM} = \frac{\int_0^{8760} P \cdot dt}{P_{\max}}$.

În funcție de valoarea calculată a duratei de utilizare a puterii maxime şi a intervalului de timp când apare puterea maximă (pe durata iernii, transformatoarele pot fi încărcate mai mult având în vedere o răcire mai bună), se alege factorul k , supraunitar, şi se determină valoarea de calcul $S_{t,\text{calcul}}$ a puterii transformatorului folosind relația : $S_{t,calcul} = \frac{S_{\max}}{k}$.

În plus, trebuie menționat că regimurile deformante şi nesimetrice (foarte întâlnite în instalațiile electrice de joasă tensiune actuale) determină solicitări suplimentare asupra transformatorului de distribuție motiv pentru care puterea acestuia trebuie denominată (declasată) în funcție de nivelul de nesimetrie şi distorsiunea armonică a curenților prin înfăşurările transformatorului.

La alegerea puterii nominale a transformatorului, pe baza valorii calculate $S_{t,calcul}$ trebuie avute în vedere următoarele aspecte [Mir02]:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- Randamentul maxim al transformatorului se obține pentru o încărcare de 60 ... 80% din puterea sa nominală.
- Puterea S_{max} trebuie determinată pe baza relației P_{max}/λ (în care λ este factorul de putere şi nu pe baza înregistrărilor de putere activă şi de putere reactivă, deoarece pot să apară diferențe mari între cele două moduri de calcul, având în vedere faptul că, în aplicațiile industriale, există practic întotdeauna, regimuri perturbate (nesinusoidale) care determină o încălzire suplimentară a transformatorului.
- Supraîncărcarea transformatoarelor, în cazul unor regimuri perturbate, poate fi făcută numai în limitele indicate de fabricant.
- În cazul unui consumator având caracteristică puternic neliniară (spectru important de armonice) este necesar a asigura denominarea transformatorului (reducerea capacității de încărcare datorată încălzirii suplimentare determinată de armonicele de curent electric).
- Utilizarea, dacă este posibil, a unui singur tip de transformator în cadrul întreprinderii, atât pentru reducerea cheltuielor de mentenanță, cât şi de eventuala înlocuire a unui transformator defect cu altul disponibil.

Bibliografie

[Art10] Artecno, 2010, Manualul de instalații: Sisteme de iluminat, instalații electrice şi de automatizare, Editura Artecno.

[Atk02] Atkinson B, 2002 Electric installation Design, Wiley-Blackwell; 3rd Edition Edition.

[Com83] Comşa, D. şi alții 1983, Proiectarea instalațiilor electrice industriale. Editura Didactică şi Pedagogică.

[Din03] Dinculescu P. 2003. Instalații electrice industriale de joasă tensiune, Editura Matrix.

[Din83] Dinculescu P. şi alții 1983, Utilizări ale energiei electrice si instalații electrice. Bucureşti, Editura didactica si Pedagogica.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

[Ghi00] Ghid pentru instalații electrice cu tensiuni până la 1000 V c.a. ŞI 1500 V c.c. Indicativ: GP 052-2000

[Goi11] Goia, M. şi alții. 2011. Utilizatori de energie electrică alimentați la joasă tensiune, Editura AGIR

[Gol10] Golovanov, N. şi alții. 2010. Consumatori de energie electrică. Materiale, Măsurări, Aparate, Instalații, Editura AGIR

[Jen03] Jenkins B.D., Coates M, 2003. Electrical Installation Calculations, Blackwell Science 3rd Edition Edition.

[Lin08] Linsley C., 2008, Advanced Electrical Installation Work, Newnes Publishing House.

[Mir02] Mircea I. 2002, Instalații şi echipamente electrice. Ghid teoretic şi practic, Edidtura Didactică şi Pedagogică.

[Nor02] Normativ pentru proiectarea şi executarea instalațiilor electrice cu tensiunii până la 1000 v c.a. şi 1500 V c.c. Indicativ: I 7-02

[Sch07] Schneider Electric, 2007, Manualul instalațiilor electrice.

[Wat06] Watkins A. J., Kitcher C. 2006, Electrical installation calculations, vol. 1+2, Elsevier and Newnes Publishing, 6th Edition.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Capitol nr. 3

Serviciul de selecţie a aparatelor de comutaţie şi protecţie în instalaţiile electrice. Corelarea automată a caracteristicilor acestora în reţeaua de joasă tensiune

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

1. **Subiect:** În capitolul de față sunt prezentate principalele aparate electrice de comutație comandă şi protecție folosite în instalațiile de joasă tensiune împreună cu criteriile care stau la baza selecției optimale a acestora. Este de asemenea prezentat serviciul de selecție automată si corelare a caracteristicilor electrice ale acestor aparate în vederea funcționării optime a întregii rețele în care acestea sunt integrate.

2. **Obiective:**

Materialul de față urmăreşte însuşirea de către cursant a modului în care este realizează serviciul de selecție a aparatelor electrice de comutație şi protecție în instalațiile de joasă tensiune. Pentru aceasta, sunt prezentate, caracteristicile tehnice fundamentale ale principalelor aparate electrice de comutație (contactoare, întrerupătoare automate diferențiale, siguranțe fuzibile, etc.) împreună cu modul în care acestea trebuie corelate pentru a realiza funcțiile cerute în tema de proiectare.

3. **Aparatele electrice de comutaţie şi protecţie – aspecte generale**

Aparatele electrice reprezintă ansamblurile de dispozitive electrice, electronice şi mecanice, precum şi categorii de echipamente electrice,

destinate comenzii, protecției, reglajului şi controlului automat sau neautomat al funcționării instalațiilor electrice [Hor84, Geo08].

Ele au rolul de a supraveghea şi de a asigura desfăşurarea în condiții normale a transportului de energie electrică de la surse la consumatori. Toate conexiunile între centralele electrice şi liniile de transport de energie, între rețele electrice şi între acestea şi consumatorii industriali sau domestici se efectuează numai prin intermediul aparatelor electrice de comutație, separare şi protecție.

Prin aparat de comutație se înțelege un sistem electric, electronic sau electromecanic cu ajutorul căruia se stabileşte sau se întrerupe un circuit electric. Rolul funcțional al aparatelor de comutație este, pe de o parte de a dirija fluxul de energie electrică de la sursele de energie la receptoare, iar pe de altă parte, de a oferi protecție împotriva suprasarcinilor, scurtcircuitelor şi supratensiunilor. Nu toate aparatele de comutație oferă şi protecție împotriva acestor avarii. Există aparate destinate numai comutației fără sarcină, altele destinate comutației sub sarcina nominală, altele destinate comutației la curent de scurtcircuit, după cum altele protejată împotriva supratensiunilor, supracurenților etc..

Aparatele electrice pot fi clasificate *după criterii diferite* precum: tensiunea nominală (de joasă, medie şi înaltă tensiune), felul curentului (de curent continuu sau alternativ), numărul de poli (mono, bi, tripolare, etc.), regimul de funcționare (permanent, de scurtă durată sau intermitent), locul de funcționare (de interior, de exterior, capsulate), funcțiile pe care le îndeplinesc (separare, comutație, protecție) [Hor00, Vas00].

Modul de realizare a funcției de comutație clasifică aparatele electrice în două mari categorii: ***aparate cu comutație mecanică*** (dinamică), unde realizarea acestei funcții este îndeplinită prin intermediul unor dispozitive şi/sau angrenaje mecanice şi, ***aparate cu comutație statică*** care caracterizează prin faptul că nu au piese în mişcare, comutația realizându-se cu ajutorul dispozitivelor electronice semiconductoare de putere (intrarea în conducție şi respectiv blocarea acestora). Trecerea dintr-o stare în alta se

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

face prin comanzi specifice fiecărui dispozitiv electronic de putere (diodă, tiristor, triac, IGBT etc).

Comutația dinamică (clasică), realizată prin închiderea şi deschiderea circuitelor pe cale mecanică ridică o serie de probleme legate în primul rând de stingerea arcului electric care solicită puternic contactele (separarea mecanică poate să nu coincidă cu separarea electrică), de producere a vibraților, de alegere a materialelor pentru părțile aflate în mişcare, de reducere a uzurii mecanice şi electrice.

În comparație cu aparatele cu comutație dinamică, cele cu comutație statică prezintă următoarele avantaje: durată mare de funcționare, frecvență ridicată de comutație (peste 20 kHz), durată mică a procesului de comutație (cca. 1ms), funcționare fără vibrații şi fără zgomot, nu produc arc electric, nu apar supratensiuni de comutație, puterea de comandă este mică, întreținerea este foarte redusă [Hor00].

În ciuda acestor atuuri considerabile, aparatele cu comutație statică au o răspândire destul de limitată datorită următoarelor dezavantaje majore: căderi de mari de tensiune pe dispozitivele electronice în stare de conducție ceea ce duce la pierderi considerabile de putere mai ales la curenți intenşi de sarcină, sensibilitate mare la curenții de defect (suprasarcină sau scurtcircuit) şi supratensiuni, nu pot fi utilizate la tensiuni medii şi înalte şi, nu în ultimul rând, prețul de cost încă foarte ridicat comparativ cu aparatele clasice.

În cele ce urmează sunt prezentate şi analizate **exclusiv aparatele cu comutație mecanică** (dinamică), destinate instalațiilor electrice de joasă tensiune, numite în continuare, doar aparate de comutație.

3.1 Funcţiile aparatelor electrice în circuitele de putere

Aşa cum deja am menționat, într-o instalație electrică, aparatele pot îndeplini una sau mai multe din următoarele funcții principale: comutația de putere, separarea, protecția electrică.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Comutația reprezintă, la modul cel mai general, modificarea configurației şi/sau continuității circuitului. Din punct de vedere mecanic ea presupune închiderea/deschiderea căilor de curent iar din punct de vedere electric stabilirea/întreruperea (ruperea) curentului.

Modificarea configurației sarcinii în circuitele de putere poate avea loc sub acțiunea unei comenzi manuale sau electrice. În acest sens se disting: ***comutația funcțională*** (în condiții normale, eventual într-o secvență prestabilită: conectarea/deconectarea de la sursa de energie), ***deconectarea*** (oprirea) ***de urgență*** (întreruperea alimentării), în caz de pericol şi deconectarea în vederea lucrărilor de întreținere curentă (mentenanță).

Separarea constă în izolarea unui circuit/receptor față de sursa de energie, astfel încât să fie posibilă efectuarea în siguranță a unor intervenții (manevre) la partea separată.

Protecția electrică are în vedere evitarea sau limitarea efectelor avariilor din instalație. Acest lucru se realizată prin: protecția elementelor de circuit şi/sau a receptoarelor în caz de supracurenți (suprasarcini, scurtcircuite), supratensiuni, creştere, scădere sau lipsă de tensiune şi protecția persoanelor împotriva electrocutării în cazul atingerilor accidentale (cauzate, în principal, de defecte de izolație). Protecția poate fi realizată direct de către aparat (special conceput în acest scop) sau la comanda altor aparate sau dispozitive de supraveghere încorporate sau asociate aparatului [Gün00]. Protecția electrică a elementelor de circuit este asigurată prin două funcții [Hor84]:

- ***detectarea situației anormale din circuit***, realizată de elemente specifice (cum sunt releele sau declanşatoarele) sau de către siguranțe fuzibile (care realizează şi deconectarea circuitului);
- ***întreruperea circuitului***, efectuată ca urmare a unei detecții, fie prin aparatul care realizează detecția (cazul siguranțelor fuzibile), fie prin aparate de comutație mecanică (contactoare, întreruptoare de putere) comandate de către dispozitivul de protecție.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Din punct de vedere al funcțiilor îndeplinite, aparatele electrice pot fi clasificate şi în aparate de comutație, aparate de separare electrică şi aparate de protecție. Există aparate care îndeplinesc doar o singură funcție (monofuncționale) după cum sunt aparate care înglobează mai multe funcții (multifuncționale).

3.2 Solicitările aparatelor electrice în instalaţie

În exploatare, aparatele sunt supuse mai multor solicitări, care influențează funcționarea lor şi care determină condițiile pe care acesta să le îndeplinească. Cele mai importante dintre aceste acestea sunt prezentate mai jos [Hor84, Vas00].

Solicitări termice - creşterea temperaturii în interiorul aparatului electric determină defecte de natură mecanică (deformări, gripări), dar este periculoasă mai ales pentru izolația electrică a aparatelor, care la temperatură ridicată îşi pierde treptat calitățile, fenomen cunoscut drept *îmbătrânire a izolației*. În fapt, curentul nominal al aparatului este impus tocmai de solicitările termice ale echipamentului.

Solicitări electrodinamice sunt solicitări de natură mecanică ce apar în forma forțelor electrodinamice sau electromagnetice şi care acționează asupra conductoarelor parcurse de curent sau asupra pieselor feromagnetice situate în câmp magnetic. Solicitările dinamice depind de pătratul curenților şi devin importante, mai ales în situații anormale sau de avarie, ca de exemplu în cazul scurtcircuitelor. Solicitările dinamice pot deforma sau chiar rupe piesele conductoare parcurse de curent, scoțând aparatul din funcțiune. Pentru a evita această situație, echipamentele trebuie alese ținând cont de puterea de scurtcircuit a locului din rețea în care vor fi montate. Utilizarea siguranțelor fuzibile sau a întrerupătoarelor limitatoare, elimină solicitările dinamice importante.

Solicitări dielectrice se datorează câmpului electric din elementele izolante ce alcătuiesc un anumit aparat. Depăşirea rigidității dielectrice a unui anumit izolant determină străpungerea acestuia. Efecte nedorite (descărcări parțiale, ionizări) apar şi înainte de străpungere şi duc la

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

îmbătrânirea izolantului. Solicitările dielectrice cresc odată cu tensiunea de alimentare, care în urma unor procese tranzitorii, poate atinge nivele ridicate. Deoarece străpungerea izolației determină scurtcircuite şi scoaterea aparatului din funcțiune, ea trebuie evitată prin menținerea tensiunii sub valoarea nominală şi prin dimensionarea corectă a clasei de izolație a aparatelor.

Solicitări în comutație se datorează arcului electric care apare în urma întreruperii unui curent electric. Aceste solicitări apar în aparatura de comutație dar şi în colectoarele unor maşini electrice. Solicitările în comutație cresc cu valoarea curentului întrerupt, dar depind şi de natura circuitului deconectat şi a felului curentului (continuu sau alternativ). De exemplu, întreruperea curentului printr-o bobină este mult mai dificilă decât întreruperea curentului dintr-un rezistor. Aceasta deoarece variația rapidă a curentului în bobină este însoțită de tensiuni induse mari. Tensiunea apărută prin autoinducție între cele două contacte face ca arcul electric să fie greu de stins. Datorită trecerilor sale naturale prin zero, curentul alternativ este mai uşor de întrerupt decât cel continuu. Solicitările în comutație limitează capacitatea de rupere a aparatajului de comutație.

Solicitări mecanice şi atmosferice sunt datorate faptului că anumite componente ale aparatelor electrice, în timpul funcționării, execută diverse tipuri de mişcării (translații rotații etc.), respectiv faptului că unele aparate (în special cele de exterior) sunt supuse agresiunii condițiilor atmosferice (temperaturii ridicate, ploaie, ceață, polei, zăpadă etc.)

4. Mărimile caracteristice generale ale aparatelor de comutaţie

Corespunzător solicitărilor la care sunt supuse aparatele electrice în instalații, producătorul de aparataj indică ***valorile nominale*** ale mărimilor caracteristice acestora. Acestea sunt stabilite pentru anumite condiții de funcționare (temperatură, presiune, altitudine etc.), se bazează pe diverse încercări de laborator şi figurează în documentația tehnică a aparatului [Sie94, Kas04].

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

În cele de urmează prezentăm cele mai importate caracteristici ale aparatelor electrice de comutație şi protecție:

Tensiunea nominală de utilizare (notație internațională U_e, notație uzuală U_n) este valoarea tensiunii care, alături de curentul nominal, determină domeniul de folosire al aparatului şi la care se raportează încercările corespunzătoare şi categoria de utilizare.

Curentul nominal standard al unui aparat este intensitatea curentului, aleasă dintr-o serie normalizată de valori, R10 cu modulul $\sqrt[10]{10}$: 6, 10, 16, 25, ...100, 125, 160 etc. Ca limită superioară menționăm a în instalațiile de joasă tensiune sunt deja aparate (întrerupătoare automate) ce au un curent nominal de 6300 A !

Curentul nominal permanent (neîntrerupt, notat internațional I_u şi uzual cu I_n) precizat de constructor, este valoarea curentului care poate fi suportat de aparat în regim neîntrerupt.

Curentul nominal de utilizare (notație internațională I_e, notație uzuală I_s – curent de serviciu), precizat de constructor, ține seama de tensiunea şi frecvența nominală, de serviciul atribuit, de categoria de utilizare şi, după caz, de tipul carcasei de protecție.

Curentul termic convențional (curentul nominal termic, curentul permanent maximal), în aer liber sau în carcasă, I_{th} este cea mai mare valoare a curentului de durată (8h), la 40°C, pentru care temperatura bornelor aparatului nu depăşeşte 105°C ($\Delta\theta$= 65 °C).

Curentul admisibil de scurtă durată, cu notația I_{sd} sau I_{cw}, este curentul (valoare efectivă) pe care aparatul îl poate suporta, în poziția închis, într-un timp şi în condiții specificate.

Curentul limită termic este curentul în valoare efectivă pe care aparatul de conectare în stare complet închisă îl poate suporta un timp determinat în condiții prestabilite, fără ca nici un element component să depăşească limitele de temperatură admise.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Curentul limită electrodinamic este valoarea de vârf a curentului cel mai mare pe care aparatul de conectare îl poate suporta, în poziția închis, din punct de vedere al solicitărilor electromagnetice în condiții prescrise de întrebuințare, funcționare şi anumită durată.

Capacitatea de conectare (de închidere) I_{con} reprezintă curentul maxim (valoare efectivă) pe care aparatul îl poate stabili, fără o uzură exagerată sau sudura contactelor.

Capacitatea de deconectare (capacitatea de rupere), notată I_d, I_r sau I_c, este curentul maxim în valoare efectivă pe care aparatul îl poate întrerupe, fără consecințe nedorite (degajare de flacără, arc electric permanent între faze sau masă, uzură exagerată a contactelor).

Integrala Joule, reprezintă integrala pătratului curentului pe un interval de timp bine precizat: $I^2t = \int_{t_1}^{t_2} i^2(t)dt$ şi este exprimată în A^2s.

Categoria de utilizare defineşte aplicabilitatea aparatului, fiind caracteristică, de exemplu, prin multiplii curentului sau tensiunii de serviciu, factor de putere, capacitate de rupere, selectivitate etc.

Serviciile în care contactele principale ale aparatului rămân închise, parcurse de un curent constant, pot fi, de exemplu:

- serviciu de scurtă durată (temporar), în cadrul căruia nu se atinge echilibrul termic;

- serviciu continuu (8 ore);

- serviciu permanent (neîntrerupt) cu durata mai mare de 8 ore;

- serviciu intermitent periodic sau serviciu intermitent, definit prin: duratele cu şi fără sarcină, care nu permit atingerea echilibrului termic;

Frecvența de conectare - numărul de manevre pe oră.

Anduranța mecanică este caracterizată prin numărul de cicluri de manevră (închidere – deschidere) *în gol* (fără sarcină electrică) pe care îl poate efectua

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

un aparat fără revizia sau înlocuirea pieselor mecanice, cu posibilitatea întreținerii normale conform indicațiilor.

Anduranța electrică este caracterizată prin numărul de cicluri de manevră (închidere – deschidere) *în sarcină* pe care îl poate efectua un aparat fără repararea sau înlocuirea pieselor mecanice.

5. Aparate electrice de comutaţie cu funcţii specifice

O mare parte din aparatele de comutație sunt destinate realizării unor sarcini specifice în circuitele de distribuție din instalațiile electrice, fiecare aparat prezentând anumite particularități de funcționare [Din03, Miro2]. Din acest motiv este indicat ca înainte de utilizarea oricărui aparat să se consulte atent specificațiile producătorului acestuia.

a. ***Siguranța fuzibilă*** deşi nu este un aparat de comutație are ca scop ca, prin topirea unuia sau mai multor elemente fuzibile dimensionate în acest scop, să deschidă circuitul în care este intercalată, întrerupând curentul atunci când acesta depăşeşte o anumită valoare într-un timp suficient.

b. ***Separatorul*** se caracterizează prin închidere şi deschidere manuală, cu viteză dependentă de operator. Are două poziții de repaus: închis şi deschis, iar poziția deschis este evidențiabilă în mod clar (fie vizibil, fie prin dispozitive de semnalizare). Realizează o distanță de izolare corespunzătoare, care asigură protecția personalului la intervenția în instalația din aval. Nu poate fi manevrat în sarcină, ci numai în gol (stabilirea şi întreruperea curentului de sarcină se realizează de către alte aparate din circuit). Realizează funcția de separare, suportă timp nelimitat curenții normali şi, pentru scurt timp (precizat), curenți de suprasarcină şi de scurtcircuit, până la eliminarea acestora de către aparate specializate din circuit.

c. ***Separator de sarcină*** (*Întreruptorul*) este caracterizat prin închidere şi deschidere manuală, în general cu viteză independentă de operator, două poziții de repaus (închis, deschis). Suportă şi întrerupe curenți normali, inclusiv curenți de suprasarcină, poate fi manevrat în sarcină, suportă, un timp specificat, curenți de scurtcircuit, până la eliminarea acestora de către

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

alte aparate specializate înseriate în circuit. Realizează funcțiile de comutație funcțională (într-un domeniu limitat de curenți) şi separare.

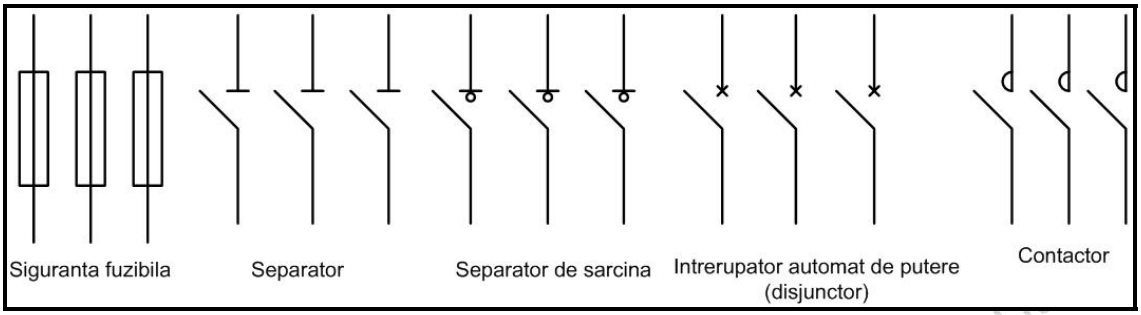


Figura 1. Simbolizarea internațională a principalelor aparate de joasă tensiune.

d. ***Întreruptorul automat de putere*** (numit în instalațiile de joasă tensiune şi ***disjunctor***) are drept particularități, închidere manuală sau prin acumulare de energie într-un resort, cu viteză independentă de operator (de exemplu, cu ajutorul unui motor) având două poziții de repaus (închis, deschis). Prin echipare cu declanşatoare, îndeplineşte simultan funcțiile de comutație de putere şi de protecție putând fi conceput să realizeze şi funcția de separare. Stabileşte şi întrerupe curenți normali, inclusiv curenți de suprasarcină. Întrerupe curenți de scurtcircuit, suportă, un timp specificat curenți de scurtcircuit. Număr posibil de manevre (în gol şi în sarcină normală) relativ redus, datorită construcției mecanice complicate.

e. ***Contactorul (electromagnetic)*** se deosebeşte prin acționare exclusiv prin electromagnet (închidere-deschidere, la comandă), o singură poziție de repaus (de regulă, deschis), menținerea în poziția acționat fiind asigurată de către electromagnet. Aparatul stabileşte, suportă şi întrerupe curenți normali şi de suprasarcină, suportă, un timp specificat, curenți de scurtcircuit până la eliminarea acestora de către alte aparate specializate înseriate în circuit, asociat cu relee adecvate. Îndeplineşte atât funcția de comutație funcțională (funcția de bază), cât şi funcția de protecție la suprasarcină. Poate fi folosit ca aparat auxiliar de comandă, frecvența sa de conectare putând fi una foarte mare (în gol şi în sarcină).

Simbolizarea internațională a acestor aparate este prezentată în Figura 1.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Datorită avantajelor economice, marii producători de aparataj realizează şi aparate integrate, cu funcții multiple. Soluțiile cele mai întâlnite în practica curentă sunt: *separator + siguranțe încorporate* (siguranțe fuzibile pe fiecare pol), *întreruptor – separator*, *întreruptor + siguranțe încorporate*, *întreruptor de putere (disjunctor) – contactor*, *întreruptor de putere (disjunctor) - contactor – separator*, *demaror (starter)* – ansamblu de aparate care asigură pornirea şi oprirea unui motor, precum şi protecția acestuia în caz de suprasarcină. Simbolurile a o parte din aceste aparate sunt prezentate în Figura 2.

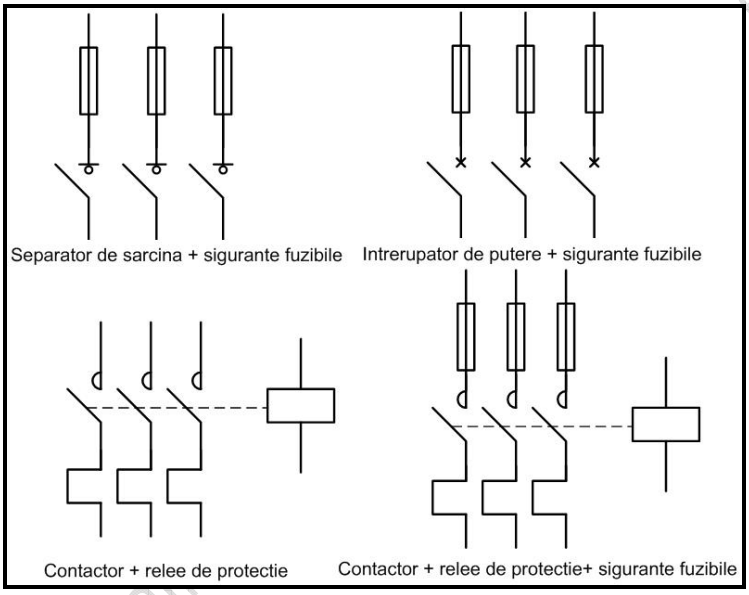


Figura 2. Simbolizarea internațională a aparatelor integrate, cu funcții multiple.

6. Serviciul de monitorizare a parametrilor instalaţiei - zone de funcţionare

Instalațiile electrice sunt dimensionate să funcționeze la anumite valori ale parametrilor energiei electrice circulate prin acestea (tensiunii, curentului, frecvenței etc.). Dacă în decursul funcționării, parametrii acestor instalații capătă alte valori decât cele normale, prevăzute de producători, atunci se intră în regimuri de funcționare anormală care pot duce, într-un interval de timp, la avarierea instalației [Art10].

Efectul regimurilor anormale este cu atât mai nefavorabil cu cât durata de funcționare a instalației în aceste regimuri este mai mare. Astfel, creşterea valorii intensității curentului electric peste valoarea nominală determină suprasolicitări de natură termică şi mecanică care sunt cu atât mai mari cu cât valoarea supracurentului este mai mare (solicitările termice şi mecanice se pot considera proporționale cu pătratul curentului). În aceste condiții, suprasolicitarea poate fi suportată de către instalație un anumit timp, care cu cât este mai mic cu atât solicitarea este mai mare. Funcția t_d = f(I), unde t_d este timpul în care instalația se defectează când este parcursă de supracurentul de intensitate I, se numeşte caracteristică de defectare şi are graficul de forma celui din Figura 3.

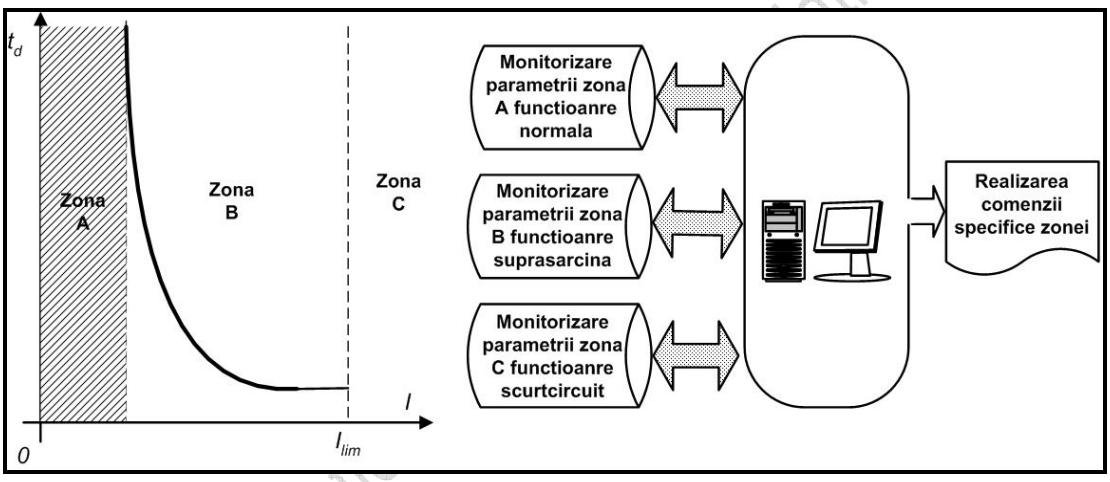


Figura 3. Monitorizarea parametrilor instalației.

Pentru curenții cu valori cuprinse între 0 şi I_{lim} instalația electrică funcționează teoretic, fără a se defecta, un timp nelimitat. Acesta este domeniul funcționării cu sarcini normale- **zona A**. În cazul funcționării cu curenți mai mari ca I_{lim}, defectarea se poate produce într-un timp determinat de ordonata caracteristicii de defectare- **zona B** (domeniul curenților de suprasarcină) sau într-un timp scurt care se poate considera practic nul – **zona C** (domeniul curentilor de scurtcircuit). Dacă din momentul apariției unui curent mai mare ca I_{lim} în domeniul valorilor ce caracterizează zona B şi până la dispariția sau micşorarea curentului sub valoarea I_{lim} trece un timp mai mic decât t_d, atunci defectarea instalației nu are loc. De aceea, instalațiile electrice sunt prevăzute cu dispozitive de protecție (aparate

electrice), care după un timp, dacă suprasolicitarea nu a dispărut, deconectează instalația de la rețeaua de alimentare. Întârzierea sau temporizarea dispozitivelor trebuie să fie mai mică decât t_d. În cazul apariției unui curent mai mare ca I_{lim}, dar în domeniul curenților de scurtcircuit-zona C, acționarea dispozitivelor de protecție trebuie să fie cât mai rapidă (teoretic instantanee).

7. Siguranţele fuzibile – caracteristici şi serviciul de selecţie

Siguranțele funcționează, prin topirea elementului fuzibil, în principal ca aparate de protecție în caz de scurtcircuit. În anumite circuite însă, siguranțele pot fi folosite şi ca aparate de protecție la suprasarcină [Din03, Gol10].

Din punct de vedere constructiv, o siguranță fuzibilă are, în general, două componente de bază: *elementul înlocuibil* care este partea mobilă şi conține elementul fuzibil ce urmează a se topi în caz de defect şi *soclul* – partea fixă, în care se montează elementul de înlocuire, prevăzut cu contacte fixe racordate direct la circuitul protejat. Prin modul de asamblare a elementului de înlocuire în soclu, se deosebesc [Art10, Hor84]: *siguranțe cu filet* (cu putere mică de rupere), *siguranțe tubulare* (cu putere medie de rupere), *siguranțe cu "cuțite"* (cu mare putere de rupere- MPR).

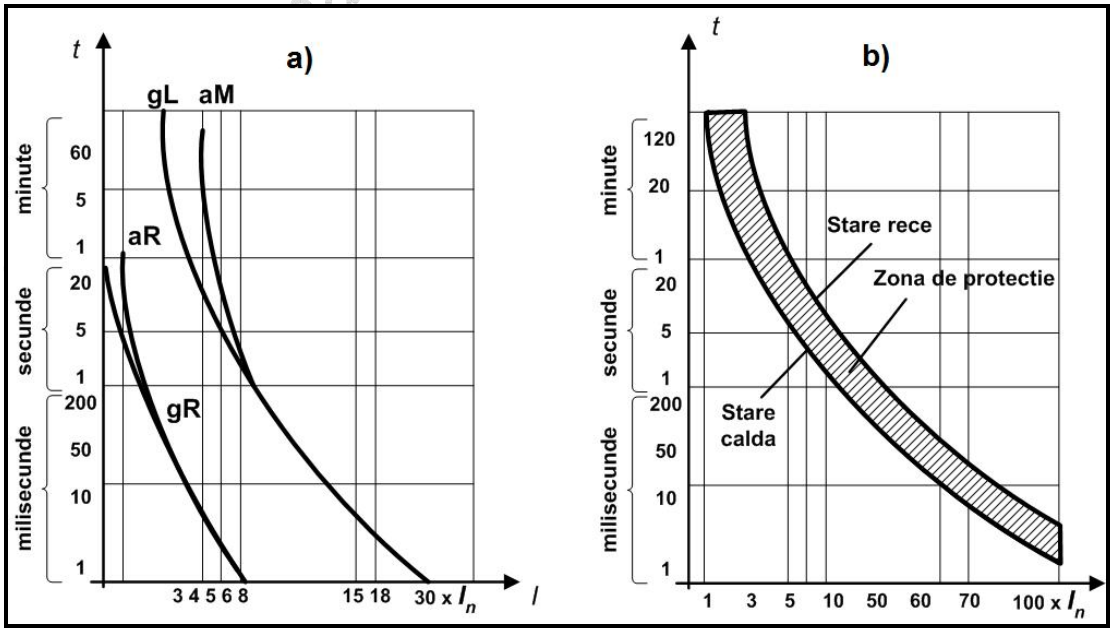


Figura 4. Caracteristicile de funcționare şi zona de protecție în pentru siguranțele fuzibile.

Caracteristicile electrice principale ale siguranțelor electrice sunt următoarele:

Curentul nominal al elementului de înlocuire I_n este curentul la care elementul de înlocuire (fuzibil) rezistă (teoretic) un timp nelimitat. Valorile curenților nominali variază conform CEI [Sch07], într-o gamă foarte largă: 2,6,8...100,125,...500, 630,...1000, 1250 A.

Curentul nominal al soclului I_{soclu} caracterizează funcționarea normală a soclului în care se montează elementele de înlocuire.

Valorile celor doi curenți variază în trepte corelate, şi se indică în documentația tehnică sub forma unui raport I_{soclu}/ I_n.

Identificarea siguranțelor se face printr-un grup de două litere:

- *prima literă* indică domeniul curenților de rupere (de către elementul de înlocuire): *g*- toți curenții, iar *a*- o parte din curenți.

- *a doua literă* precizează categoria de utilizare, definind caracteristica timp curent, timpi şi curenți convenționali: *gG* - siguranțe de uz general (care pot rupe orice curent – siguranțe normale sau rapide); *aM* - siguranțe pentru protecția circuitelor motoarelor (care pot rupe numai o parte din curenți- siguranțele lent rapide) ; *gR* şi *aR* siguranțe ultrarapide pentru protecția semiconductoarelor sau convertizoarelor electronice. În mod obişnuit in proiectare se mai întâlneşte pentru siguranțele *gG* şi notația *gL* – siguranțe pentru protecția liniilor (conductoare şi cabluri) Figura 4-a.

<u>*Curentul (convențional) de nefuziune*</u> I_{nf} este valoarea curentului pe care elementul de înlocuire îl poate suporta un timp precizat (1, 2, 3, 4 h în funcție de curentul nominal), numit şi <u>*timp convențional*</u> fără a se topi.

<u>*Curentul (convențional) de fuziune*</u> I_f (notat internațional şi cu I_2) este valoarea curentului care provoacă topirea elementului de înlocuire înainte de expirarea timpului convențional. Astfel pentru o siguranță de I_n = 32 A are timpul convențional 1 h, I_{nf} = 1.25 I_n = 40 A iar I_f = I_2 = 1.6 I_n = 52.1 A.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

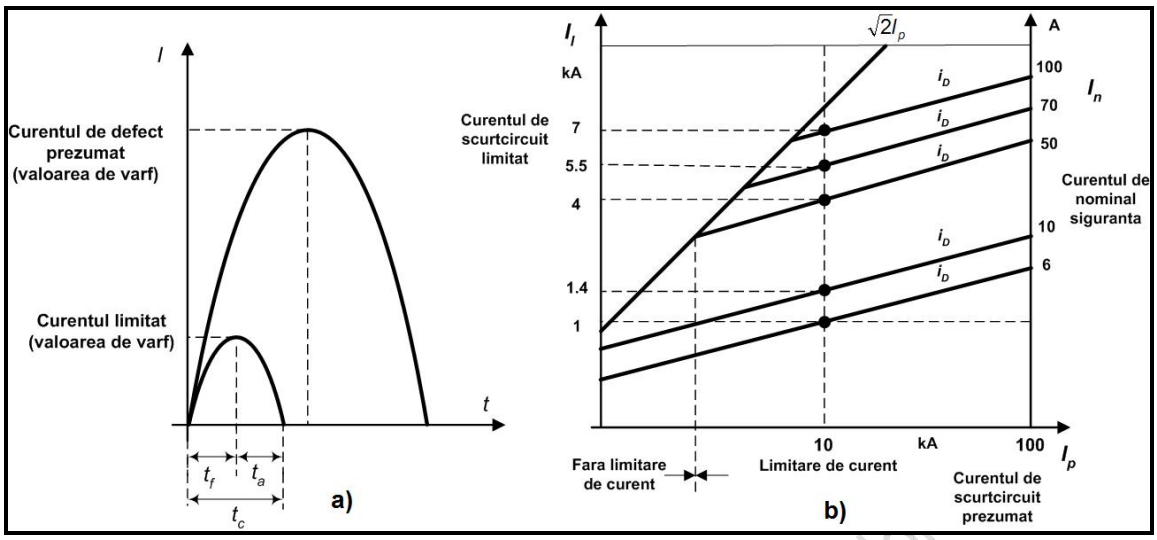


Figura 5. Caracteristicile de limitare pentru siguranțele fuzibile.

Corespunzător principiului de funcționare, *caracteristica de protecție* (timp-curent) este o curbă care indică, în funcție de curentul prezumat întrerupt, fie durata de prearc (numită şi durată de topire (timpul scurs între apariția curentului de defect şi momentul formării arcului electric), fie durata de funcționare (suma duratelor de prearc şi de arc) Fig. 5-a. De regulă caracteristicile de protecție se prezintă în coordonate dublu logaritmice.

Având în vedere dispersia timpilor de topire şi de funcționare, la aceeaşi valoare a curentului, fiecărei siguranțe îi corespund în general două curbe delimitând o *zonă de protecție*, în care poate avea loc întreruperea - Figura 4-b. Dispersia caracteristicilor de protecție se ia în considerare în proiectarea rețelelor pentru receptoare foarte importante; în rest se recurge la caracteristica de protecție sub forma unei singure curbe reprezentând, de regulă, durata de prearc în funcție de intensitatea curentului. Mai trebuie menționat că timpii de funcționare indicați în aceste caracteristici în stare rece a siguranțelor, se reduc cu circa 35 % în cazul unei sarcini preliminare egale cu valoarea curentului nominal al acesteia. De regulă, producătorii de echipamente indică în documentație caracteristicile de *prearc ale siguranțelor cu fuzibilul în stare rece*.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor

Integrala Joule de funcționare a siguranței (precizată funcție de curentul nominal) este de asemenea o caracteristică importantă a acestui aparat, mai ales în ceea ce priveşte protejarea la suprasarcină a cablului în care este înseriată.

Caracteristica de limitare indică, la o anumită valoare a curentului nominal I_n, valoarea curentului limitat tăiat (numit şi curent de trecere) i_D (valoarea instantanee maximă a curentului limitat i_l) funcție de valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit prezumat I_p. Această limitare a curentului reduce semnificativ solicitările termice şi electrodinamice care ar putea să apară, minimizând consecințele la locul defectului. Puterea de rupere la scurtcircuit a siguranței se bazează de aceea pe valoarea efectivă a componentei de c.a. a curentului prezumat de defect. Pentru siguranțele fuzibile nu este specificată nici o valoare nominală la închiderea pe scurtcircuit, pentru curentul de scurtcircuit.

In Figura 5-b, este exemplificat cum la un scurtcircuit simetric cu I_p = 10 kA, curentul din circuit este limitat, în cursul întreruperii la 7 kA, pentru o siguranță cu I_n = 100 A, în timp ce o siguranță de cu I_n = 10 A, limitează valoarea curentului la 1.4 kA.

7.1 Serviciul de selecţie a siguranţelor fuzibile

Alegerea siguranțelor constă în stabilirea curentului nominal al elementului de înlocuire I_n, urmată de alegerea soclului corespunzător. În acest scop, în practică se folosesc relații simple între curentul nominal al siguranței şi parametrii circuitului în care sunt înseriate (curentul de calcul I_c, curentul de vârf I_v, curentul maxim admisibil al conductorului sau cablului I_{ma}), specifice condițiilor de exploatare.

I. Siguranţele de uz general folosite în circuitele de putere trebuie să satisfacă simultan două sau trei condiții în absența respectiv în prezența curentului de vârf în circuitul respectiv.

1. *Siguranța trebuie să suporte timp nelimitat curentul de calcul* al circuitului, ceea ce se realizează atunci când curentul nominal al siguranței este

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

superior curentului de calcul: $I_n \geq I_c$; (din acest punct de vedere, siguranța ar trebui să fie de un curent cât mai mare)

2. *Trebuie să asigure protecția conductorului rețelei* la supracurenți anormali, detectând circuitul înainte ca temperatura acestuia să depăşească limitele admise, în corelație cu valoarea curentului maxim admisibil corespunzător materialului şi secțiunii conductorului, execuția circuitului (conductor, cablu, bare) şi condițiile de montaj şi exploatare:

a) protecția numai la scurtcircuit (dacă este cazul, în circuit trebuie să existe un dispozitiv special de protecție la suprasarcină): $I_n \geq 3I_{ma}$;

b) protecția la suprasarcină şi scurtcircuit (dacă în circuit nu sunt prevăzute aparate specifice de protecție la suprasarcină): $I_n \geq I_{ma}$;(din acest punct de vedere siguranța trebuie să aibă un curent nominal cât mai mic)

3. *Siguranța nu trebuie să funcționeze la curenți de vârf* (supracurenți funcționali, care nu trebuie interpretați drept curenți de defect). Curentul nominal al siguranței trebuie corelat intensitatea de vârf I_v şi cu durata acestuia t_v.

În cazul cel mai des întâlnit al motoarelor electrice, intervin curentul de pornire $I_v = I_p = k_p I_{nmot}$ şi durata pornirii $t_v = t_p$, care depinde de dificultatea pornirii, în funcție de sarcina în momentul pornirii. Astfel în cazul pornirii uşoare $t_p \in [2 \div 5]s$, la pornirea normală $t_p \in [5 \div 8]s$, iar în cazul pornirii grele $t_p > 8s$ [Din03, Nor02]

Sintetizând cele expuse anterior, protecția conductorului rezultă din corelarea integralei Joule a acestuia cu integrala Joule de funcționare a siguranței – Figura 6.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

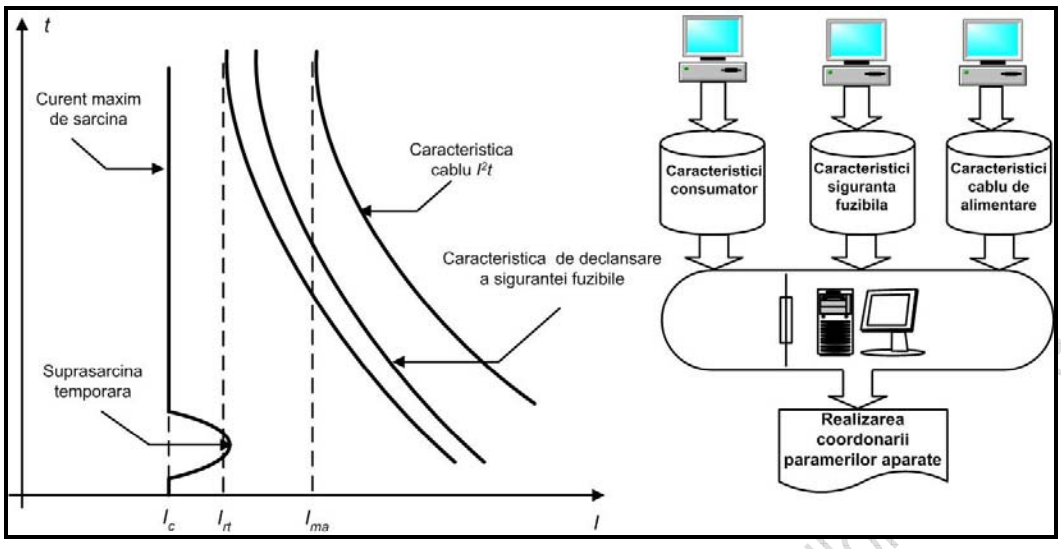


Figura 6. Condiții de selecție a siguranțelor fuzibile de putere în instalație.

În principiu există mai multe moduri de aplicare a condiției expuse mai sus:

a) Folosirea caracteristicilor individuale de timp-curent t = f(I_n) ale siguranțelor alegându-se o siguranță a cărei caracteristică se găseşte deasupra punctului critic de coordonate (t_p, I_p).

b) Folosirea unei caracteristici comune pentru o familie de siguranțe t = f(I/I_n), care, de regulă este reprezentată printr-o zonă în planul caracteristicilor; condiția de selecție fiind $I_n \geq I_p / C_p$, in care C_p depinde atât de felul motorului şi de schema de pornire k_P, cât şi de dificultatea pornirii t_p [Din03, Nor02].

c) Utilizarea informațiilor tehnice din cataloagele de produs, specifice tipului de siguranță, care pot fi prezentate în cel puțin două forme: tabele indicând direct curentul nominal al siguranței funcție de puterea motorului sau relația dintre curentul nominal al siguranței şi curentul nominal al motorului este prezentată sub forma $I_n = C I_{nmot}$, unde $C \in [1.2 \div 1.5]$.

II. Siguranţele de uz general folosite în circuitele de lumină şi prize (care asigură şi protecția la suprasarcină rezultată prin supraîncărcare) trebuie să satisfacă relația: $I_n < I_{ma}$ dacă posibilitatea de apariție a suprasarcinilor este minimă (de exemplu, în cazul lămpilor fluorescente tubulare), iar în restul cazurilor: $0.6 I_{ma} < I_n < 0.8 I_{ma}$

III. Siguranţele de însoţire se aleg conform indicațiilor din cataloagele referitoare la receptorul alimentat.

8. Întrerupătoare automate de putere (disjunctoare) – caracteristici şi serviciul de selecţie

Prin încorporarea sau asocierea de elemente specializate, întrerupătoarele de putere sunt aparate capabile să satisfacă simultan aproape toate funcțiile principale cerute de o instalație electrică (comutație, separare, protecție) precum şi alte funcții (semnalizare, măsurare, comandă la distanță etc.). Deşi în principiu, se pot realiza ca şi întrerupătoare simple (neautomate), având numai funcțiile de comutație şi, eventual, de separare, întrerupătoarele de putere sunt, de regulă, echipate cu diverse declanşatoare care permit declanşarea automată in caz de defect in circuit (suprasarcină, scurtcircuit, lipsă de tensiune sau tensiune minimă) sau comanda deconectării la distanță - Figura 7-a.

În construcția ”clasică”, declanşatoarele de curent sunt: declanşatoare termice de suprasarcină şi declanşatoare electromagnetice (de curent maxim) pentru protecția la scurtcircuit. În construcțiile moderne şi mai ales la curenți nominali foarte intenşi (1600 A, 4000 A şi chiar 6300 A), se folosesc declanşatoare electronice.

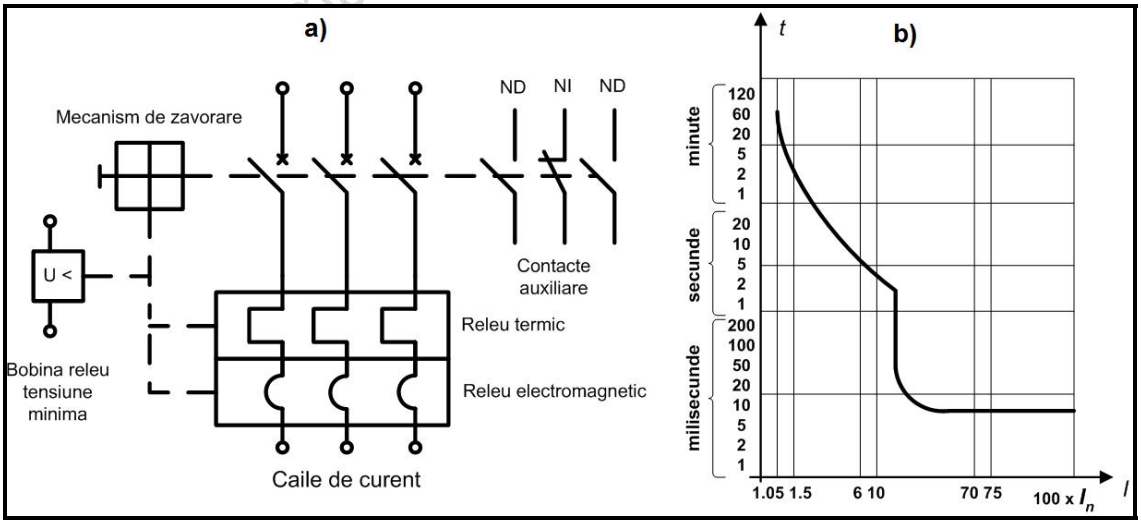


Figura 7. Construcția şi caracteristica timp-curent unui întrerupător automat de putere (disjunctor).

Mărimi caracteristice specifice întrerupătoarelor automate sunt:

Categoriile de utilizare ale întrerupătoarelor sunt : Categoria A- întrerupătoare fără întârziere deliberată de declanşare la scurtcircuit; Categoria B - întrerupătoare prevăzute cu mijloace de temporizare a declanşării în caz de scurt circuit (utile în realizarea selectivității în protecție a unei rețele) [Sch10].

Curentul nominal (de serviciu, de utilizare) **rated current** I_n este curentul de serviciu neîntrerupt I_u şi are aceeaşi valoare cu curentul termic convențional I_{th} .

Capacitatea de închidere pe scurtcircuit **making capacity** I_{cm} se exprimă prin valoarea de vârf a curentului de scurtcircuit prezumat în kÂ, pe care întrerupătorul îl poate conecta.

Capacitatea de rupere limită la scurtcircuit **ultimated braking capacity** (I_{du} sau I_{cu}) este cea mai mare valoare a curentului întrerupt, în cazul încercării la scurtcircuit.

Capacitatea de rupere de serviciu la scurtcircuit **service braking capacity** I_{ds} sau I_{cs}) care corespunde curentului de defect maxim întrerupt, fără ca aparatul să fie afectat semnificativ, valoarea lui este definită ca un procent din I_{cu} (25, 25, 75, 100 %). Capacitățile de rupere se exprimă în kA (valoare efectivă).

Curentul de scurtă durată admisibil I_{cw} **withstand current** este valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit prezumat, suportabilă un timp specificat (0.05- 1 s). Valorile minime sunt max (12 I_n, 5 kA) pentru I_n < 2500 A şi 30 kA pentru I_n > 2500 A. Se defineşte pentru întrerupătoarele de categorie B, unde se realizează o întârziere în declanşare.

Caracteristica de limitare a curentului de scurtcircuit, specifică întrerupătoarelor limitatoare, arată dependență valorii de vârf a curentului limitat in raport cu valoarea efectivă a curentului de defect prezumat - Figura 8-a. Limitarea curentului permite folosirea ***tehnicii de filiație***. Aceasta presupune utilizarea puterii de limitare a disjunctoarelor, oferind posibilitatea de a instala, în aval, disjunctoare cu o capacitate de rupere mai

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

mică. Disjunctorul din amonte joacă, în acest caz, rolul unei bariere pentru curenții intenşi de scurtcircuit. Filiația [Sch10, Akt02] se referă la toate aparatele situate în aval, nu numai două aparate consecutive. Se precizează că curentul de rupere a disjunctorului din amonte trebuie să fie superior curentului de scurtcircuit prezumat în locul în care acesta este instalat. Producătorii de aparate electrice prezintă tabele cu coordonare între disjunctoarele care sunt montate în aval, cu puterea de rupere „întărită" prin filiație cu disjunctoarele din amonte.

În principiu *caracteristica timp-curent* (de funcționare) a unui întrerupător care asigură funcțiile de protecție la supracurenți este formată din caracteristicile timp-curent ale declanşatoarelor termic şi electromagnetic. Caracteristica declanşatorului termic, destinat protecției în caz de suprasarcină, este o caracteristică dependentă de curent, iar caracteristica declanşatorului electromagnetic, destinat protecției in caz de scurtcircuit, este practic o caracteristică practic independentă de curent Figura 7-b.

Curenții de reglaj sunt I_r (I_{rt}, I_n) pentru declanşatorul termic respectiv I_m pentru declanşatorul electromagnetic.

Declanşatorul termic este, in esență, clasic, îndeplinind cerințele specifice unui asemenea dispozitiv [Hor00]. Declanşatorul electromagnetic este conceput astfel încât să satisfacă cerințele impuse de sarcina circuitului. În acest sens, standardele stabilesc curbe specifice care diferă prin valoarea curentului de reglaj I_m în raport cu valoarea de reglaj al declanşatorului termic - curbe de tip B,C sau D [Sch07, Sie94]- Figura 8-b.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

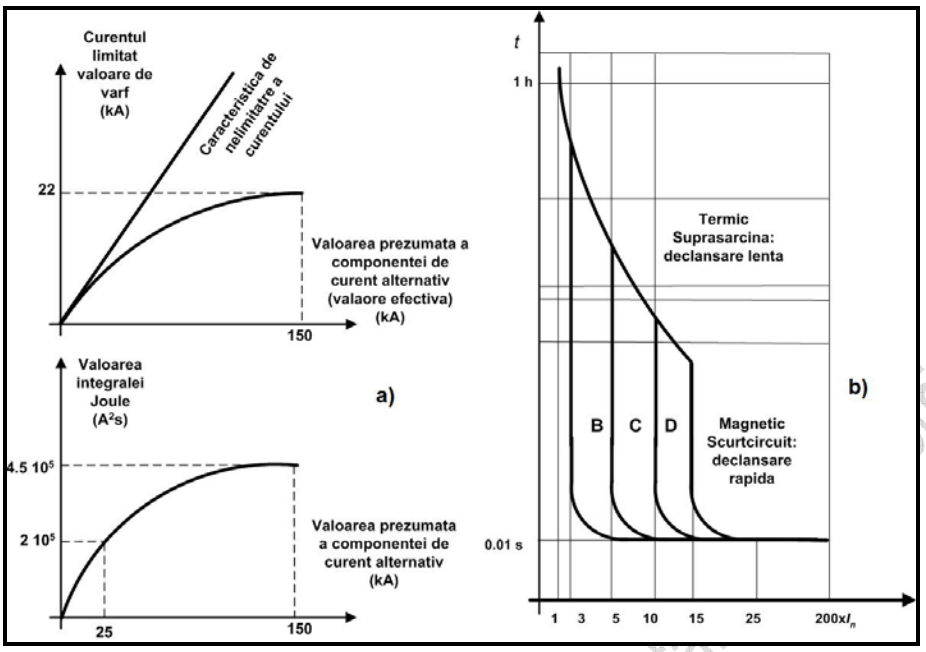


Figura 8. Caracteristici de limitare a curentului de scurtcircuit şi curbe specifice de declanşare.

Construcțiile moderne de întrerupătoare automate se caracterizează prin execuție modulară, dimensiuni cât mai reduse, asociere cu aparate de protecție realizate cu componente electronice, caracteristici superioare (conform normelor CEI 947-1÷5, EN 60947 1-2), coordonarea mai bună a caracteristicilor elementelor de protecție şi mai ales *posibilitatea monitorizării computerizate (chiar wireless) a parametrilor din instalații* [Sie94, kas04].

Întrerupătoarele automate moderne de mare putere realizează analiza comenzilor pentru declanşare, în funcție de valorile prestabilite, prin intermediul *unui microprocesor electronic încorporat*. De asemenea acestea permit evaluarea şi afişarea numerică a diverşilor parametrii de calitate ai energiei electrice consumate (indicatori pentru nesimetrie, distorsiuni armonice) de receptorul (rețeaua) pe care întrerupătorul o protejează.

8.1 Serviciul de alegere a întrerupătoarelor

Pe lângă cerințele menționate pentru funcția de comutație şi pentru protecția la suprasarcină, este necesar, în principiu, ca declanşatoarele de curent maxim să asigure protecția conductorului rețelei de scurtcircuit şi să

nu reacționeze la supracurenții funcționali (de vârf) din circuit (dacă aceştia există).

a. Protecția conductorului se realizează atunci când caracteristica de declanşare a întrerupătorului se situează sub caracteristica I^2t a conductorului (integrala Joule a întrerupătorului trebuie să fie inferioară integralei Joule a conductorului) pentru toate valorile curentului de defect pană la capacitatea de rupere I_d a aparatului Figura 9.

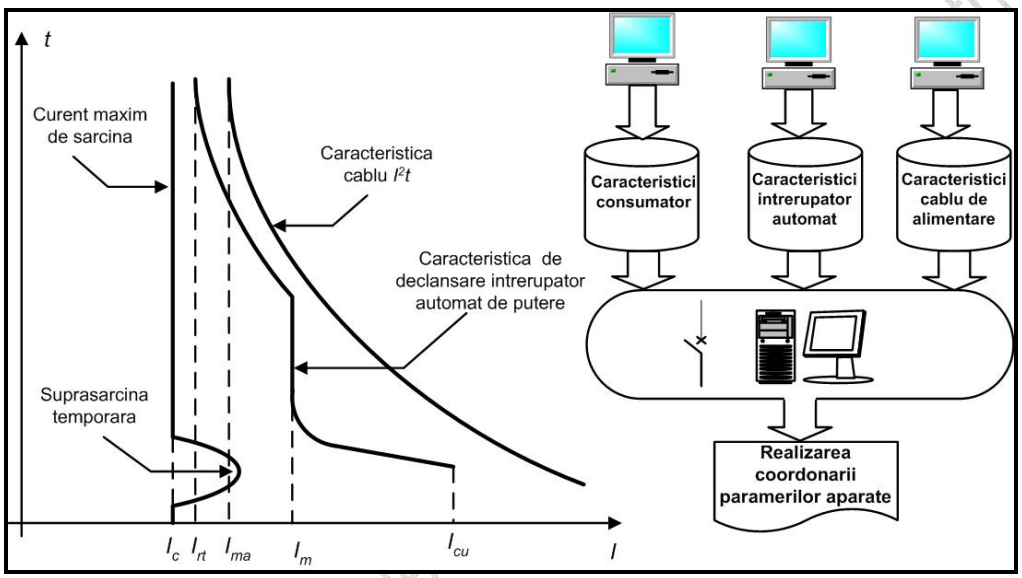


Figura 9. Condiții de selecție a disjunctoarelor de putere în instalație.

În practică se foloseşte frecvent pentru întrerupătoarele normale relația: $I_s \geq 1.45 I_{ma}$, unde I_{ma} este intensitatea curentului maxim admisibil, în condiții de exploatare, funcție de secțiunea conductorului [Nor02]

b. Nefuncționarea la curenți de vârf are loc dacă declanşatorul electromagnetic este reglat astfel încât: $I_m \geq 1.2 I_v$. Pentru situații concrete, este necesar să se aibă in vedere caracteristicile de declanşare specifice.

Alegerea întrerupătoarelor limitatoare urmează aceleaşi principii aplicate la care se adaugă însă şi particularităților constructive şi funcționale corespunzătoare.

9. Întrerupătoare (disjunctoare) diferenţiale – caracteristici şi serviciul de selecţie

Aceste aparate, în plus față de întrerupătoare automate de putere au şi rolul de a asigura protecția personalului de exploatarea împotriva contactelor indirecte cu părțile active conductoare ale instalației şi a echipamentelor şi la existența unor curenți de fugă pe una din faze datorată unor avarii: suprasarcini, scurtcircuite, contacte imperfecte, defecte de izolație [Art10, Geo08].

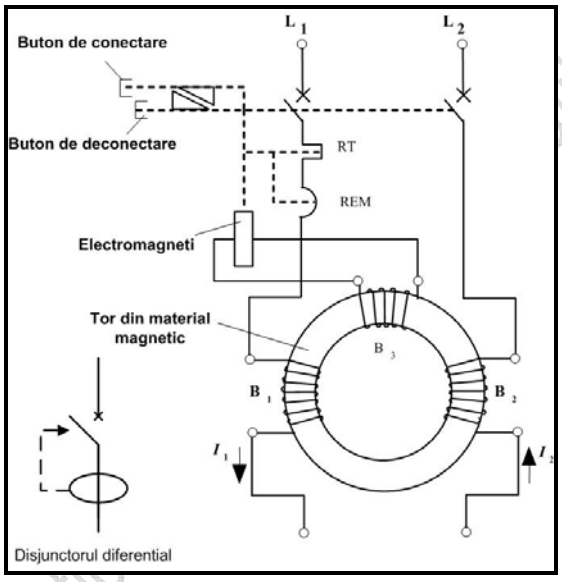


Figura 10. Simbolul şi construcția de principiu a întrerupătorului diferențial.

Dispozitivul diferențial este format dintr-un circuit magnetic în formă de tor pe care sunt bobinate sau îl traversează conductele de fază şi/sau de conductorul neutru de lucru (dacă există). În absența unui curent de defect, fluxurile magnetice produse de bobinele înfăşurate pe tor au suma algebrică nulă. În cazul apariției unui defect, fluxul magnetic din tor, are o valoare diferită de zero şi induce astfel într-o bobină înfăşurată pe tor o tensiune electromotoare ce comandă declanşarea disjunctorului - Figura 10-b. Sensibilitatea disjunctorului diferențial precizează valoarea curentului de defect, care conduce la declanşarea aparatului. Acest curent are valori de 6,10,30,100,300, 500 mA şi 1 A [Sie94].

Trebuie menționat că se realizează „blocuri" diferențiale modulare numite întrerupător diferențial (fără protecție la suprasarcină şi scurt circuit), în engleză RCCB (***Residual Current Circuit Breaker***), care se pot însă ataşa cu uşurință disjunctoarelor realizându-se în acest fel şi funcția de protecție diferențială [Sie94]. Disjunctoarele prevăzute cu protecție diferențială, în engleză RCBO (***Residual Current Breakers with Overload Protection***) sunt executate în varianta amplasării pe şină, deci în tablouri electrice cu dimensiuni mici, pentru curenți electrici nominali de până la 125 A şi de rupere de până la 50 kA [Gün00, Ghr05]. Din punct de vedere al condițiilor de utilizare, blocurile diferențiale se clasifică în trei categorii [Sch07]: **tipul AC** destinate aplicațiilor standard, unde se detectează doar curentul alternativ de defect care realizează declanşarea, **tipul A** destinate aplicațiilor speciale, unde este necesară şi detectarea componentei de curent continuu a curentului de defect (protecția echipamentelor electronice) şi de **tipul Hpi** destinate de asemenea unor aplicații speciale unde dispozitivul trebuie să prezinte imunitate la declanşare în cazul regimurilor tranzitorii dese şi de durată sau a interferențelor electromagnetice.

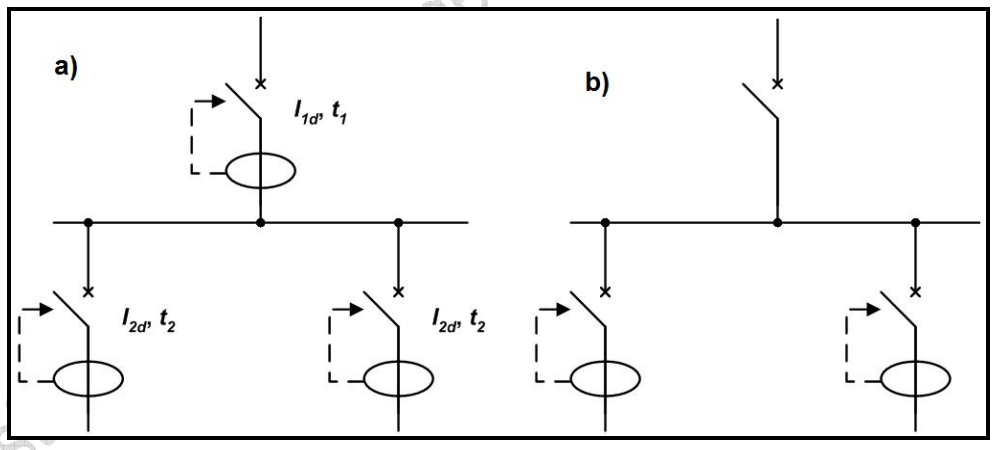


Figura 11. Selectivitate orizontală şi selectivitate verticală a întrerupătoarelor diferențiale.

Din punct de vedere al timpului de declanşare din momentul sesizării defectului distingem disjunctoare diferențiale în **versiune Standard**, unde declanşarea este instantanee şi în **versiune "S"**, declanşarea este temporizată (utile în special pentru realizarea selectivității cronometrice) .

O calitate foarte importantă, implementată în ultima perioadă, permite corelarea timpului lor de acționare cu timpul de fuziune a siguranțelor fuzibile, de regulă, în amonte, asigurându-se acționarea selectivă a aparatelor de protecție [Art10, Kas04].

În cazul în care se instalează mai multe disjunctoare diferențiale, se poate realiza fie o *selectivitate orizontală* fie o *selectivitate verticală* - Figura 11. În cazul in care se realizează selectivitatea orizontală, disjunctorul din amonte este fără protecție diferențială. Astfel, în cazul producerii unui defect, se întrerupe numai circuitul în care acesta s-a produs. În cazul selectivității verticale, sensibilitatea disjunctorului din amonte I_{1d} se recomandă să aibă o valoare de două ori mai mare decât a disjunctorului din aval I_{2d}, iar în plus timpul de declanşare a disjunctorului din amonte trebuie să fie mai mare decât al disjunctorului din aval: $t_1 > t_2$.

10. Contactoare – caracteristici şi serviciul de selecţie

Contactorul electromagnetic este constituit dintr-un electromagnet de acționare şi un ansamblu de contacte principale şi contacte auxiliare Figura 12-a. Mărimi caracteristice specifice contactorului sunt [Din03]:

Curentul nominal de utilizare care ține seama şi de curentul nominal al releului de suprasarcină. În cazul utilizării pentru comanda unui singur motor sau a unui receptor capacitiv, poate fi înlocuit prin indicarea puterii maxime care poate fi comandată.

Curentul temporar admisibil este definit pentru durate de: 1 s, 5 s, 10 s, 30 s, 1 min, 3 min sau 10 min, pornind din stare rece (curent nul timp de cel puțin 15 min), la o temperatură a mediului ambiant de cel mult 40°C. Este inferior capacității de conectare. Prezintă interes, de exemplu, în cazul motoarelor cu demaraj lung, datorat inerției mecanismului antrenat.

Categoria de utilizare în curent alternativ (AC) şi în curent continuu (DC) defineşte condițiile de stabilire şi rupere a curentului în raport cu curentul de utilizare I_e (I_s). Pentru contactoare, categoria de utilizare depinde de:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

- natura receptorului comandat (transformator, motor, baterie de condensatoare etc.)

- condițiile în care se efectuează închiderea şi deschiderea circuitului receptorului.

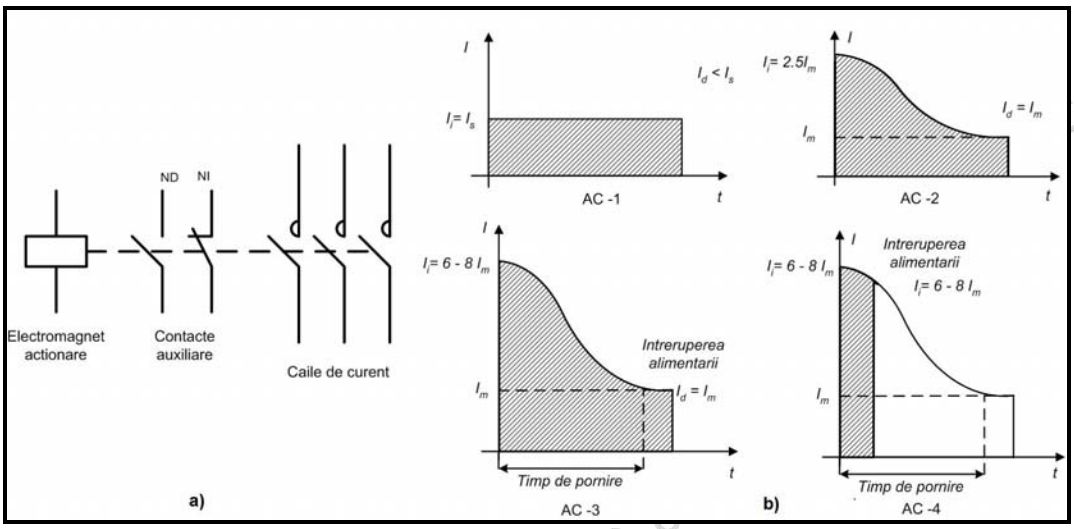


Figura 12. Contactorul şi categoriile sale de utilizare.

Astfel: AC1 – este dat de toate receptoarele rezistive de curent alternativ, AC 2 – reprezintă motoarele asincrone cu rotorul bobinat, AC3- este dat de motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit iar AC 4 – este impus de regimul de pornire frânare motor asincron cu rotor colivie - Figura 12- b.

10.1 Serviciul de selecţie a contactoarelor

Principalele mărimi caracteristice sunt precizate în datele de catalog ale furnizorului de aparataj.

a. pentru un circuit de iluminat cu lămpi de incandescență: Curentul de conectare, filamentul lămpilor fiind, inițial, in stare rece este: $I_v = (15 \div 20) I_c$. Condițiile de alegere fiind: $I_s \geq I_c \; si \; \frac{I_v}{\sqrt{2}} \leq I_{con}$.

b. pentru lămpile cu descărcare electrică (AC-1, 40°C): în cazul lămpilor fluorescente tubulare: $I_s \geq \frac{I_c}{0.8}$ iar în cazul lămpilor de mercur cu sodiu la

înaltă presiune $I_s \geq \frac{I_c}{0.6}$. Este de asemenea necesar să se verifice şi conectarea sarcinii capacitive reprezentate de condensatorul de compensare montat în paralel cu fiecare lampă.

c. Pentru circuitul de alimentare a unui transformator JT/JT (AC-1), unde curentul de conectare este $I_v = (25 \div 40) I_c$. Condițiile de alegere sunt: $I_s \geq I_c \quad si \quad \frac{I_v}{\sqrt{2}} \leq I_{con}$.

d. Circuitul capacitiv, care apare după conectarea bateriilor de condensatoare (AC-1), solicită, de regulă: $I_s \geq 1.43 I_c$. Puterea reactivă maximă comandabilă fiind insă indicată în catalogul furnizorului.

e. Circuitul unui motor asincron în colivie (AC-3)- necesită un contactor adaptat puterii motorului comandat, conform datelor cu caracteristici ale contactoarelor furnizate de constructor.

Asociat cu un releu de protecție (de exemplu un releu termic), contactorul asigură comutația şi protecția la suprasarcină în circuitul unui motor [Hor00, Vas00].

11. Relee şi declanşatoare – caracteristici şi serviciul de selecţie

Releele şi declanşatoarele pot fi încadrate în categoria aparatelor de comandă, care, controlând o anumită mărime din circuitele electrice în care sunt inserate, pot îndeplini atât funcții de protecție cât şi funcții de automatizare [Din03, Mir02]

Caracteristica (de declanşare) timp-curent este o caracteristică descendentă, invers dependentă de curent, indicată frecvent pentru funcționarea pornind din *starea rece* (fără trecerea prealabilă a unui curent), declanşarea se produce după un timp cu atât mai scurt cu cat suprasarcina e mai mare – Figura 13. În cazul când suprasarcina intervine *după o încălzire prealabilă la curentul nominal*, constructorul trebuie să furnizeze o

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

curbă corespunzătoare sau să precizeze procentul de reducere a timpilor de declanşare (25 ÷50 %). Declanşarea are loc după depăşirea unui prag cuprins între 105 şi 120 % din valoarea curentului de reglaj.

Pentru protecția circuitelor la suprasarcini se folosesc relee şi declanşatoare termice, care sunt construite pe baza unor lamele bimetalice (două lamele metalice, cu coeficienți de dilatare termică diferiți, laminate împreună) încălzite de curentul din circuitul protejat: fie direct, prin înserierea în circuit, fie indirect printr-o înfăşurare de încălzire dispusă în jurul lamelei, fie mixt (direct sau indirect). În cazul curenților intenşi (peste 160 A), se foloseşte un transformator de curent.

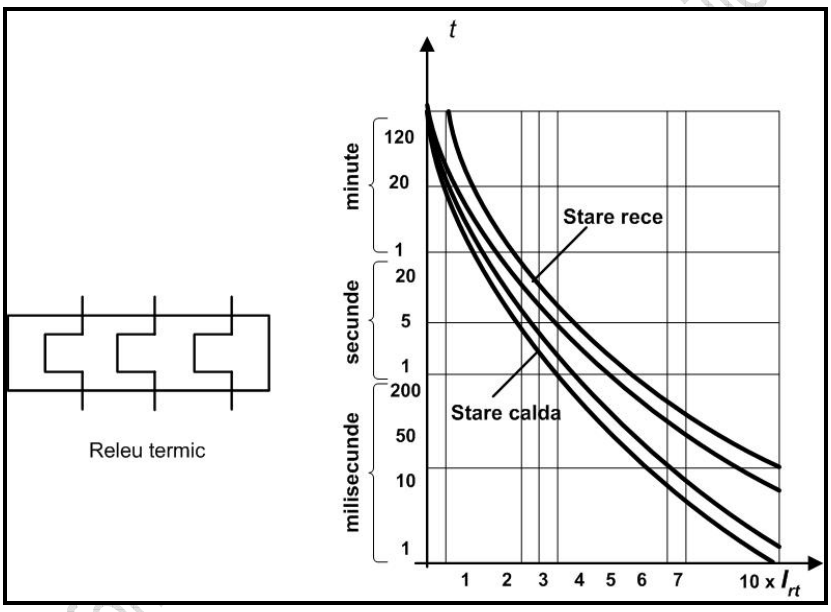


Figura 13. Simbolul si caracteristica de declanşare a unui releu termic.

Declanşatoarele termice sunt în execuție unipolară, fiind înglobate în întrerupătoare, putând provoca deschidere aparatului prin dezăvorârea mecanismului de menținere în poziția închis.

Curentul nominal (de serviciu) I_n este curentul nominal al lamelei bimetalice. Gama de curenți nominali cuprinde un număr de valori discrete: 0.75, 1,..,11,16...32, 40, 63 A.

Curentul nominal al unui bloc de relee termice (realizat ca element independent) se constituie dintr-o scară de valori discrete, cu mai puține

trepte decât I_n, intr-un bloc putând fi montate lamele având curenți de serviciu într-o anumită gamă (de ex. 10, 32, 63 A).

Plajele de reglaj corespunzătoare diverselor valori ale curentului de serviciu sunt alese astfel încât să se suprapună parțial, dând posibilitatea alegerii unui dispozitiv de protecție pentru orice valoare a curentului din circuitul protejat.

Curentul de reglaj I_r poate fi situat în una din plajele (indicate de către constructor): $I_r = (0.7 \div 1)I_n$; $I_r = (0.8 \div 1)I_n$ sau $I_r = (0.5 \div 1)I_n$.

Protecția de suprasarcină în circuitele motoarelor trebuie realizată ținând seama şi de particularitățile pornirii. Supracurentul de pornire nu trebuie interpretat drept curent de defect. De asemenea, aparatele de protecție nu trebuie să acționeze pe durata pornirii în diferite condiții (de exemplu pornire în gol, porniri in sarcină la antrenarea unor maşini cu inerție mare). Pentru a putea fi adaptate la caracteristicile motoarelor, au fost stabilite *clase de declanşare*. Acestea precizează timpul (în secunde) necesar realizării procesului de pornire (clasă 10, 20, 30 s). Protecția termică de clasă 10 convine majorității situaților practice (timp de pornire sub 10 s).

Curentul de autoprotecție este valoarea curentului (circa $10I_s$) care provoacă declanşarea aparatului comandat de releu/declanşator înainte ca lamela bimetalică să depăşească temperatura limită la care se mențin caracteristicile de material.

Releele electronice multifuncționale pot realiza protecția motoarelor electrice la: suprasarcină, întreruperea unei faze, defecte de izolație, ventilație deficitară, griparea palierelor de la arbori, demaraj prea lung, solicitări datorită regimului greu de funcționare, calarea motorului, inversarea succesiunii fazelor, modificări inacceptabile ale factorului de putere. Releul multifuncțional asigură semnalizarea defectelor, măsurarea tensiunii între faze, poate comanda motorul independent (ex. schimbarea sensului de rotație). După declanşarea termică se poate arma manual sau automat, iar curentul reglat poate fi stabilit local sau de la distanță.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Comunicarea parametrilor şi vizualizarea funcțiilor este asigurată de un microcalculator PC printr-o interfață.

11.1 Serviciul de selecţie a releelor/declanşatoarelor termice

Selecția releelor termice presupune:

- Alegerea curentului nominal al lamelei (curentul de serviciu) se face în funcție de curentul maxim admisibil al receptorului şi conductorului circuitului. Pentru motoare, se alege acea valoare a curentului de serviciu, în a cărui plajă de reglaj se situează (recomandabil, cât mai aproape de limita superioară) curentul nominal al motorului: $I_{rt} \approx I_{nmot}$.
- Alegerea curentului nominal al blocului de relee termice se face conform relațiilor de corespondență (precizate de producător) între curenții nominali ai lamelei şi blocului de relee.

12. Serviciul de corelare a aparatelor electrice de joasă tensiune în reţea

12. 1 Corelarea aparatelor în reţea-aspecte generale

În prima fază a proiectării, aparatele din componența unei rețele se aleg astfel încât acestea să satisfacă cerințele de comutație şi de protecție specifice circuitului (ramurii de rețea) din care fac parte. În final însă, caracteristicile aparatelor trebuie să fie corelate, pentru a asigura funcționarea optimă a întregii rețele. Un accent deosebit se pune pe corelarea caracteristicilor de protecție împotriva supracurenților, în particular protecția în caz de scurtcircuit [Din03, Kas04].

12.1.1 Aparatele înseriate în acelaşi circuit (aparate asociate)

Realizarea funcțiilor de bază cerute de specificul receptorului se poate obține prin folosirea unor aparate monofuncționale înseriate in aceeaşi ramură de rețea (acelaşi circuit). În acest caz, corelarea caracteristicilor

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

aparatelor respective urmăreşte *complementaritatea funcțională (protecția de însoțire)*:

- realizarea comenzii şi protecției circuitului, în diferite condiții de funcționare, de către aparatul cel mai indicat în acest scop (dacă aparatele au şi funcție similară), cu sau fără contribuția celuilalt aparat
- protecția reciprocă între aparate, la depăşirea limitelor admise pentru funcționarea normală

Corelarea trebuie să asigure:

- funcționarea satisfăcătoare a circuitului în serviciul normal
- întreruperea selectivă, în timp util şi fără pericol pentru personal şi pentru instalație a curentului de suprasarcină şi a curentului de scurtcircuit

Corelarea se verifică simultan pentru:

- un curent nominal de scurtcircuit
- un curent prezumat de scurtcircuit, care depinde de calibrul aparatului şi este inferior curentului convențional.

Sunt definite două tipuri de corelare, în funcție de comportarea aparatelor după eliminarea scurtcircuitului (de gradul de deteriorare acceptat); *tipul 1* – aparatul trebuie să funcționeze fără a fi necesare reparații sau înlocuiri de piese şi *tipul 2* – aparatul nu trebuie să prezinte deteriorări, dereglări sau înlocuiri de piese (cu excepția fuzibilelor), fiind admis numai riscul de sudură a contactelor contactorului. *Corelarea totală* presupune şi eliminarea riscului de sudură a contactelor aparatelor.

12.1.2 Aparate consecutive în rețea

Pentru aparatele consecutive în rețea (situate în ramuri consecutive) se are în vedere ***selectivitatea protecției***, în scopul creşterii siguranței în funcționare şi a operativității repunerii în funcționare a instalației după defect. În caz de defect, trebuie să funcționeze numai aparatul aflat imediat în amonte de locul defectului, în ramura cu defect, restul instalației

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

rămânând în funcțiune (aparatele montate în amonte de punctul de distribuție trebuind să nu funcționeze).

Din punct de vedere al consecințelor, selectivitatea poate fi: *totală* dacă funcționează pentru toate valorile curentului (de la suprasarcină la scurtcircuit) şi *parțială* pentru o plajă limitată de curent.

Din punct de vedere al tehnicii de realizare, selectivitatea poate fi:

- *Selectivitatea ampermetrică*, bazată pe nivelul de curent, se realizează prin reglajul în trepte, crescător din aval spre amonte (spre sursă), al nivelelor de declanşare ale dispozitivelor de protecție.
- *Selectivitatea cronometrică (temporală)* se bazează pe diferența dintre timpii de funcționare ai aparatelor şi se obține prin creşterea progresivă a temporizării, din aval spre amonte.
- *Selectivitatea logică* ce se poate obține în cazul întrerupătoarelor de putere echipate cu declanşatoare electronice speciale şi interconectarea pentru transferul reciproc de date.

În cazul întrerupătoarelor limitatoare este folosită selectivitatea bazată pe nivelele arcului electric de deconectare a curenților de scurtcircuit.

12.2 Serviciul de corelare contactor cu releu termic-siguranţă, în acelaşi circuit.

Asocierea celor două aparate - Figura 14, trebuie să servească scopul de complementaritate a funcționării.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

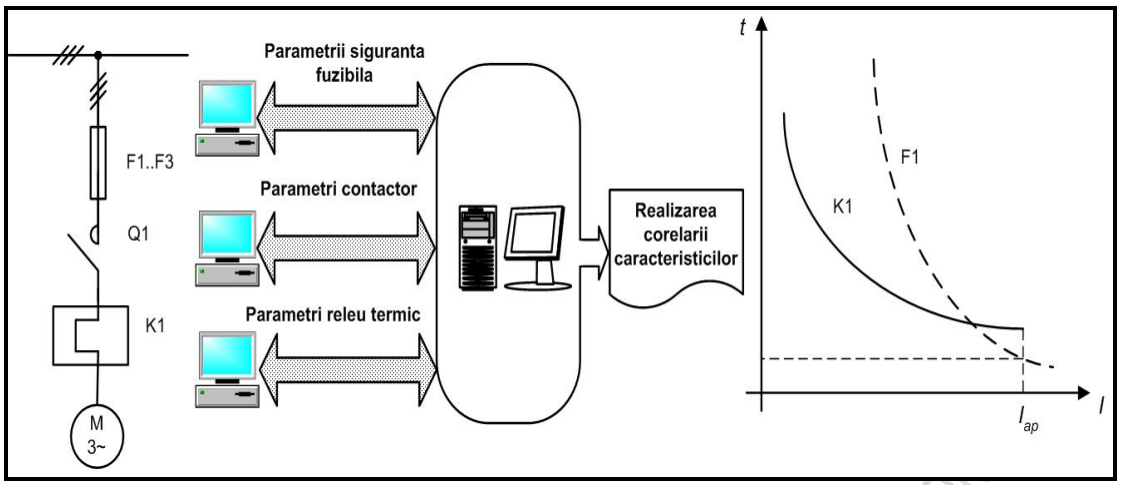


Figura 14. Corelarea contactor cu releu termic-siguranță.

Observații: Prin construcție, contactorul din circuitul motorului trebuie să fie capabil să întrerupă curenții I_r = (6..8) I_n şi să suporte curenții până la (8..10) I_n fără a se produce sudura contactelor. Caracteristicile siguranței şi releului termic pot fi alterate în cazul unei suprasolicitări termice (fenomenul de ”îmbătrânire”)

Funcționare schemei:

- Protecția la suprasarcină este realizată de releul termic care comandă contactorul. Releul termic trebuie să asigure protecția până la $I < I_{\text{calare_motor}}$, în mod repetitiv, fără ca siguranța să îmbătrânească termic.

- Protecția la scurtcircuit este realizată de siguranță care trebuie să asigure:

  - Protecția releului termic: întreruperea circuitului dacă $I > 10\ I_n$ (când releul termic nu mai autoprotejază)
  - Protecția contactorului față de întreruperea unor curenți excesiv de mari
  - Protecția contactorului față de sudura contactelor

- Trebuie avut în vedere că siguranța întrerupe $I_{sc} < 20\ I_{nsig}$ relativ lent şi că aceşti curenți parcurg în intervalul de timp respectiv contactorul, solicitându-l foarte intens.

Condiţiile de corelare au în vedere, în principiu următoarele considerente:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor el

- Integrala Joule de funcționare a siguranței trebuie să fie inferioară integralei Joule corespunzătoare distrugerii releului termic, eventual integralei Joule corespunzătoare sudării contactelor

- Caracteristica timp-curent de prearc a siguranței trebuie să intersecteze caracteristica timp-curent a releului termic şi să se situeze sub acestea din urmă pentru curenți care depăşesc capacitatea de rupere a contactorului şi sunt inferiori curentului de autoprotecție a releului I_{ap}. Acesta este cele mai mare curent pe care-l poate suporta releul, fără distrugerea sau alterarea caracteristicilor sale

Siguranța de calibrul cel mai mare care satisface condițiile precedente este precizată în cataloage. Siguranțele *aM* sunt insensibile în domeniul de suprasarcină şi pot suporta $I < 6\ I_{nsig}$ cu o durată până la 10 s fără să îmbătrânească. În zona de scurtcircuit, datorită proprietăților limitatoare, asigură utilizarea completă a contactoarelor, fără a produce sudura contactelor. Siguranțele *gG* cu curenții nominali mici pot asigura, de asemenea, protecția la scurtcircuit, fără sudura contactelor, însă nu permit exploatarea completă a capacității de conectarea a contactoarelor.

Toate condițiile expuse anterior pot rapid satisfăcute dacă se implementează în programe de calcul care utilizează bazele de date cu caracteristicile fiecărui aparat folosit.

12. 3 Serviciul de corelare întrerupător de putere cu declanşatoare - siguranță, în acelaşi circuit.

Această combinație – Figura 15, de aparate se utilizează atunci când curentul într-un punct a rețelei poate depăşi capacitatea de rupere I_r (I_{cs}) a întrerupătorului (nelimitator) instalat în punctul respectiv şi asigură protejarea întrerupătorului în timpul întreruperii curenților de scurtcircuit de valori mari (protecție de însoțire). Întrerupătorul este prevăzut cu declanşatoare (electromagnetice) DE pentru scurtcircuit şi, după caz, cu declanşatoare (termice) DT pentru protecția la suprasarcină.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Funcționarea schemei, în vederea complementarității în funcționare, este următoarea:

- Protecția la suprasarcină (dacă este prevăzut) este realizată de întrerupător, la comanda declanşatorului termic.

- Curenții $I_{sc} < I_r$ sunt sesizați practic instantaneu de către declanşatorul electromagnetic, iar întreruperea lor este realizată de către întrerupător, cu avantajul important de întrerupere simultană a celor trei faze, circuitul putând fi reconectat imediat după o întrerupere. Siguranța asistă întrerupătorul, fără a suferi fenomenul de îmbătrânire termică.

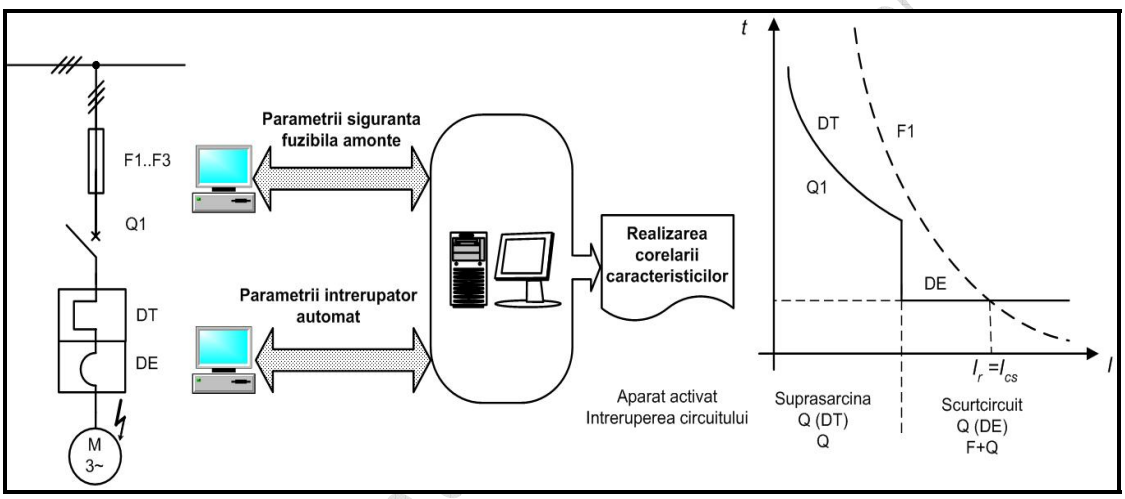


Figura 15. Corelarea întrerupător de putere cu declanşatoare -siguranță.

- La curenți $I_{sc} > I_r$, sunt sesizate (activate) simultan siguranța şi declanşatorul electromagnetic al întrerupătorului, dar întreruperea curentului este realizată de către siguranță (care funcționează mai rapid). Întrerupătorul deschide circuitul practic fără sarcină, asigurând întreruperea simultană a tuturor fazelor, inclusiv în cazul unui scurtcircuit monofazat.

- Siguranța protejată declanşatorul termic la acțiunea curenților de scurtcircuit mari.

Condițiile de corelare impun ca, din punct de vedere al caracteristicilor timp-curent, caracteristica de prearc a siguranței: să se situeze deasupra

caracteristicii declanşatorului termic, distanțată suficient şi să se intersecteze caracteristica declanşatorului electromagnetic $I < I_r$.

Siguranța de calibru cel mai mare care poate fi asociată cu un întrerupător dat precizată în cataloage sau alte baze de date specifice.

12.4 Serviciu de corelare între siguranţe consecutive într-o reţea ramificată

Siguranțele consecutive dintr-o rețea – Figura 16, trebuie să asigure selectivitatea protecției.

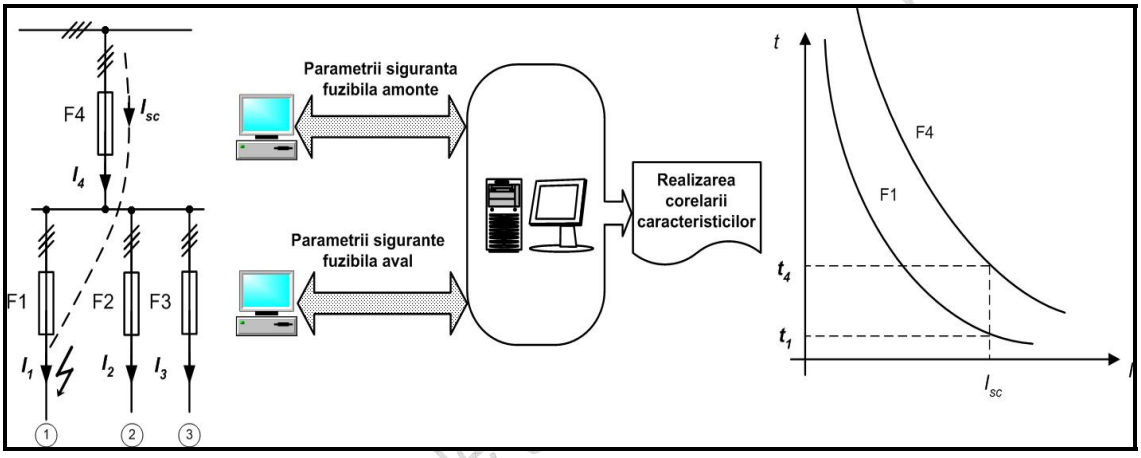


Figura 16. Corelarea între siguranțe consecutive într-o rețea ramificată.

În caz de defect (scurtcircuit) în oricare din circuitele 1,2 sau 3, trebuie să funcționeze numai siguranța aferentă F1, F2 sau F3. Siguranța din amonte F4 trebuie să rămână intactă pentru a asigura continuitatea alimentării circuitelor fără defect (acesta va fi însă afectată termic, putând ”îmbătrâni” în caz de solicitări repetate).

Condiția necesară şi suficientă de corelare este ca cele două caracteristici de protecție ale siguranțelor implicate să nu se suprapună sau să se intersecteze pe tot domeniul posibil de curenți de defect. Mai precis, valoarea integralei Joule de funcționare (rupere) a siguranței din aval trebuie să fie inferioară integralei Joule de prearc a siguranței din amonte, la aceeaşi valoare a curentului de scurtcircuit. Vor fi luate în considerare şi dispersiile celor două caracteristici.

Condiția este îndeplinită, în general, atunci când curenții nominali ai siguranțelor din amonte se găsesc în raportul de minim 1.6: $I_{n4}/I_{n1} > 1.6$; $I_{n4}/I_{n2} > 1.6$...

În practică, condiția de selectivitate echivalează cu o diferență de cel puțin două trepte pe scara curenților nominali ai siguranțelor. De exemplu, dacă I_{n1} = 25 A, I_{n2} = 20 A, I_{n3} = 50 A, rezultă: I_{n4} = 80 A.

12.5 Serviciul de corelare între întrerupătoare consecutive într-o rețea ramificată

Schema din Figura 17, întâlnită frecvent în cazul distribuției fără siguranțe fuzibile, trebuie să satisfacă cerințele de selectivitate.

În caz de defect (scurtcircuit) în unul din circuitele 1,2 sau 3, trebuie să deconecteze Q1, Q2 sau Q3, întrerupătorul din amonte Q4 asigurând în continuare alimentarea punctului de distribuție respectiv.

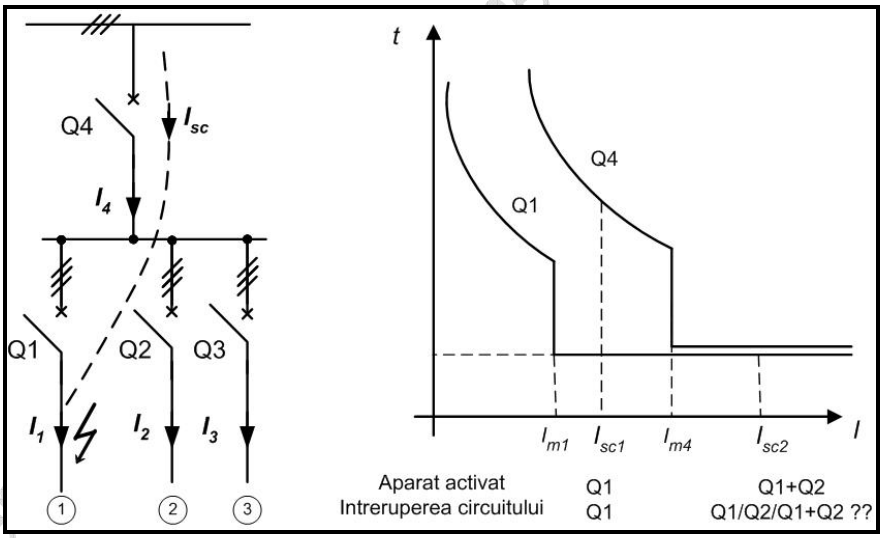


Figura 17. Corelarea între întrerupătoare consecutive într-o rețea ramificată.

În cazul întrerupătoarelor normale (nelimitatoare) condițiile de selectivitate sunt:

a) selectivitatea ampermetrică, în cazul întrerupătoarelor din categoria A, este asigurată dacă intensitatea curentului de reglaj al declanşatoarelor electromagnetice ale întrerupătorului din amonte este superioară

curentului respectiv pentru întrerupătorul din aval: $I_{m4} > I_{m1}$; $I_{m4} > I_{m2}$, etc.

Condiția este realizabilă deoarece $I_{n4} > I_{n1}$; $I_{n4} > I_{n2}$, iar reglarea declanşatoarelor se face la un multiplu a lui I_n. Practic trebuie verificată relația: $I_{n4} \geq 3 \max(I_{n1}, I_{n2}...)$. În mod normal $I_{sc4} > I_{sc1}$ datorită impedanței mai reduse a rețelei până la locul defectului (pentru I_{sc1} se adaugă impedanțele barelor şi cablurilor până la locul defectului). Selectivitatea este parțială, pentru curenți inferiori curenților de reglaj al întrerupătorului din amonte.

b) selectivitatea cronometrică – Figura 18, se poate realiza dacă întrerupătorul din amonte este de clasă B (este prevăzut cu un dispozitiv de întârziere încorporat în declanşatorul electromagnetic care are şi un declanşator instantaneu) iar întrerupătorul din aval aparține clasei A.

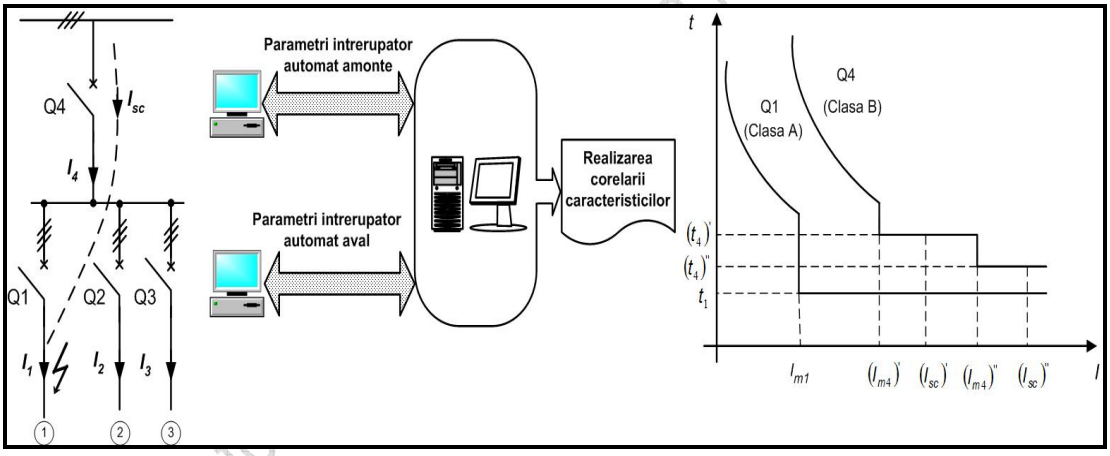


Figura 18. Corelarea între întrerupătoare de clasă A şi B consecutive într-o rețea ramificată.

La $I_{sc}^{'}$ sunt activate ambele aparate, dar va funcționa întrerupătorul Q1, deoarece $t_4^{'} > t_1$. Întrerupătorul Q4 va funcționa numai la curenți $I_{sc}^{''} > I_{m4}^{''}$.

- Selectivitatea ampermetrică poate fi realizată şi dacă întrerupătorul situat în aval (Q1, Q2, sau Q3) este limitator.
- Dacă ambele întrerupătoare (amonte şi aval) sunt limitatoare şi echipate cu declanşatoare sensibile la presiunea din camera de stingere a arcului electric, reglate corespunzător, iar $I_{sc} > 25 I_n$, selectivitatea se poate obține

pe *baza energiei arcului electric* de deconectare. În acest fel, devine posibilă utilizarea în aval a unui întrerupător cu capacitate de rupere inferioară curentului de scurtcircuit prezumat din circuitul său. Această tehnică se numeşte şi ***fliație electrică***. Producătorii de aparate electrice furnizează utilizatorului tabele sau alte materiale documentare unde sunt precizate combinațiile de aparate testate de aceştia în laborator. Utilizarea tehnicii filiației duce la dimensiuni şi costuri mai reduse ale aparatelor electrice de mare putere din instalație.

12.6 Serviciul de corelare între întrerupător automat – siguranţe consecutive într-o reţea ramificată

Schema din Figura 19, urmăreşte realizarea selectivității.

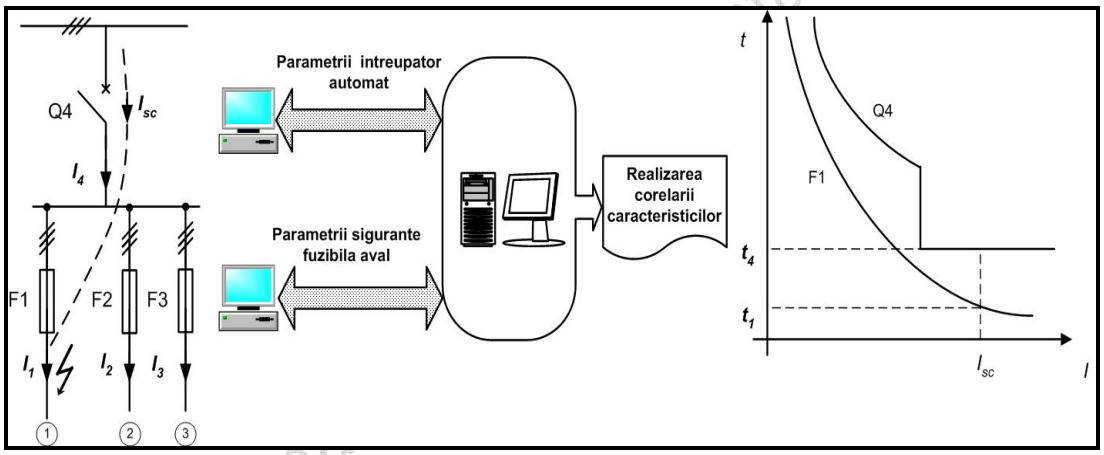


Figura 19. Corelarea întrerupător de putere cu declanşatoare -siguranță.

În caz de defect în circuitul 1, trebuie să funcționeze siguranța F1, întrerupătorul Q4 rămânând închis. În acest scop, caracteristica $t(I)$ de funcționare (declanşare) a întrerupătorului trebuie să se situeze deasupra caracteristicii de funcționare a siguranței (în acelaşi sistem de axe), la o distanță suficientă, ținând seama de dispersiile caracteristicilor.

Bibliografie

[Art10] Artecno, 2010, Manualul de instalații: Sisteme de iluminat, instalații electrice şi de automatizare, Editura Artecno.

[Atk02] Atkinson B, 2002 Electric Installation Design, Wiley-Blackwell; 3rd Edition.

[Chr05] Christopher S., 2005, Electrical Installation, Nelson Thornes Ltd.; 3rd edition

[Din03] Dinculescu P. 2003. Instalații electrice industriale de joasă tensiune, Editura Matrix.

[Geo08] Geoffrey S., 2008, Handbook of Electrical Installation Practice, Wiley-Blackwell, 4th Edition.

[Gol10] Golovanov, N. şi alții. 2010. Consumatori de energie electrică. Materiale, Măsurări, Aparate, Instalații, Editura AGIR.

[Gün00] Günter S., 2000, Electrical Installations Handbook, John Wiley and Sons- VCH; 3rd Edition.

[Hor00] Hortopan Gh., 2000, Aparate electrice de comutație, vol I+II, Editura Tehnică.

[Hor84] Hortopan Gh., 1984, Aparate electrice, Editura Didactică şi Pedagogică.

[Kas04] Kasikci I., 2004, Analysis and Design of Low-Voltage Power Systems: An Engineer's Field Guide, John Wiley and Sons -VCH; 1st edition.

[Mir02] Mircea I. 2002, Instalații şi echipamente electrice. Ghid teoretic şi practic, Edidtura Didactică şi Pedagogică.

[Nor02] Normativ pentru proiectarea şi executarea instalațiilor electrice cu tensiunii până la 1000 v c.a. şi 1500 V c.c. Indicativ: I 7-02.

[Sch07] Schneider Electric, 2007, Manualul instalațiilor electrice.

[Sie94] Siemens,1994, Switching, Protection and Distribution in Low-Voltage Networks: Handbook with selection criteria and planning guidelines for switchgear, switchboards, and distribution systems, John Wiley and Sons -VCH; 2nd Revised Edition.

[Vas00] Vasilievici A., Petru A., 2000, Aparate şi echipamente electrice, Editura Orizonturi Universitare, Timişoara.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Capitol nr. 4

Serviciul de analiză şi estimare a punctului de funcţionare pentru principalii consumatori industriali din instalaţiile electrice

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

1. Subiect:

Abordarea principalelor aspecte legate de serviciul de analiză şi estimare a punctului de funcționare pentru consumatori industriali din instalațiile electrice. Sunt analizate în mod special transformatoarele de putere şi motoarele electrice asincrone de joasă tensiune din punct de vedere al solicitării rețelei şi al eficienței energetice.

2. Obiective:

Obiectivele vizate de acest capitol urmăresc însuşirea de către cursanți a modalității în care este satisfăcut serviciul de analiză şi estimare a punctului de funcționare pentru cei mai importanți consumatori industriali din instalațiile electrice de joasă tensiune. Analiza este orientată pe evaluarea solicitării şi eficienței energetice în funcționare pentru echipamentele electrice de forță din instalațiile industriale: transformatoarele şi motoarele electrice asincrone. Se urmăreşte o evaluare cât mai precisă a parametrilor de funcționare şi a pierderilor de putere pentru aceşti consumatori concomitent cu identificarea unor metode de creştere a eficienței energetice a acestora.

3. Convertoarele electromecanice de curent alternativ – principalii consumatorii de energie din instalaţiile electrice industriale

În cadrul instalațiilor electrice de producere, transport şi utilizare a energiei electrice un rol deosebit îl joacă maşinile electrice (convertoarele electromecanice), ca generatoare în centralele electrice, ca transformatoare în instalațiile de transport şi distribuție şi ca motoare electrice în diferite tipuri de acționări electromecanice.

Prin *maşină electrică* se înțelege orice dispozitiv capabil să transforme puterea mecanică în putere electrică sau invers, sau care transformă parametrii energiei electrice (tensiune, curent electric, frecvență, fază, felul curentului electric, număr de faze) prin intervenția unor dispozitive a căror funcționare are la bază fenomenul de inducție electromagnetică [Mor10]. În majoritatea maşinilor electrice intervin deplasări relative ale unor circuite sau armături magnetice, cu excepția transformatorului, care ocupă o poziție specială, fiind şi uneori denumit transformator electric static.

Prin *transformator electric* (static) se înțelege un dispozitiv electromagnetic care transformă parametrii (în general, tensiunea şi curentul electric, alteori numărul de faze, eventual frecvența) energiei electrice de tensiune alternativă. În practică se întâlnesc mai ales transformatoarele care modifică tensiunea şi curentul electric. Acestea pot fi monofazate sau polifazate (mai des trifazate).

Maşinile electrice propriuzise (în care intervine deplasarea relativă a unei armături) pot fi cu mişcare rotativă sau cu mişcare liniară (progresivă sau oscilantă). Maşinile electrice actuale de importanță energetică sunt maşini electrice rotative. Acestea se împart în maşini de curent alternativ şi maşini de curent continuu, după cum energia electrică furnizată maşinii (motoare) sau obținută de la maşină (generatoare) este sub formă de curent alternativ sau de curent continuu. Există maşini electrice alimentate cu ambele forme de energie (convertizoarele) sau care pot funcționa atât la tensiune alternativă cât şi la tensiune continuă (universale). Maşinile de

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

curent alternativ pot fi monofazate sau polifazate, după numărul de faze al circuitelor electrice. Orice maşină electrică propriuzisă poate funcționa în regim de generator electric sau regim de motor electric [Fitz02].

Gestiunea în timp real al instalațiilor electrice pe diverse nivele presupune determinarea parametrilor de funcționare (corespunzători punctelor de funcționare a maşinilor electrice) în vederea efectuării bilanțurilor energetice şi implicit a eficienței de energetice de funcționare a acestora Figura 1.

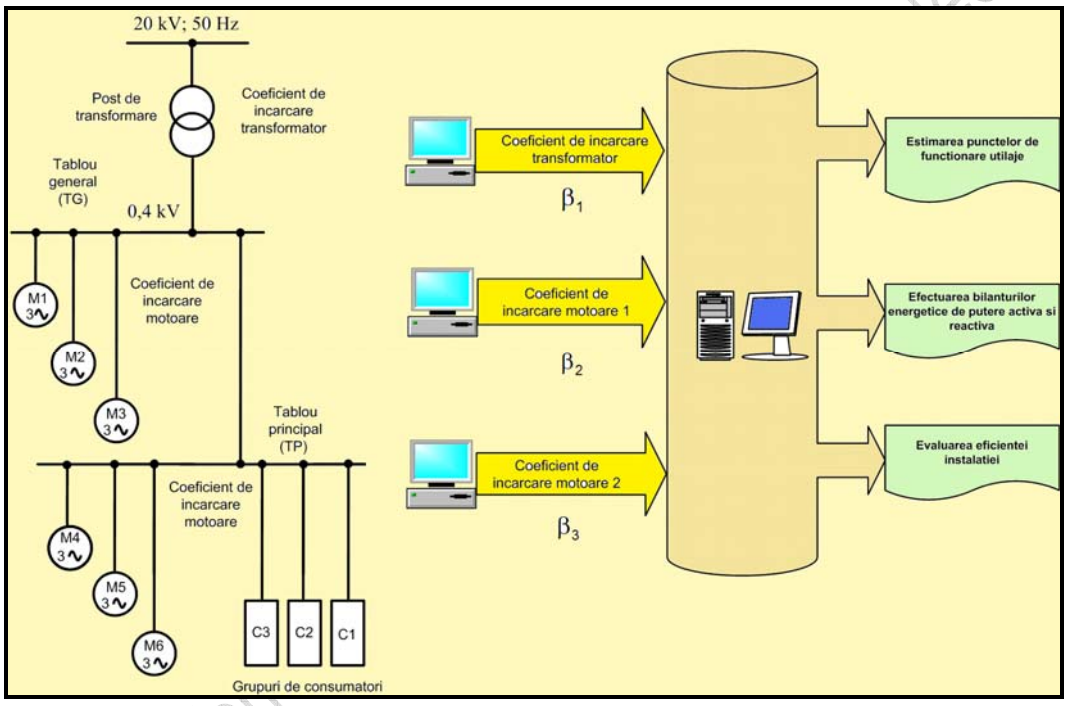


Figura 1. Gestiunea consumului energetic a maşinilor electrice din instalații.

Prin generator electric se înțelege o maşină electrică care primeşte din exterior energie (putere) mecanică (de obicei sub forma unui cuplu, care roteşte arborele maşinii rotative) şi o transformă în energie (putere) electrică.

Prin motor electric, se înțelege o maşină electrică care primeşte din exterior putere electrică şi o transformă în putere mecanică.

Convertoarele electromecanice se folosesc şi pentru modificarea felului curentului electric (de exemplu, a curentului electric alternativ în curent electric continuu – redresoare sau invers-invertoare), a frecvenței, a numărului de faze, a parametrilor curentului electric continuu etc. Acestea

se numesc *maşini electrice convertizoare* [Mor10]. Unele maşini electrice pot funcționa şi în regim de frână electrică, situație în care maşina primeşte atât putere mecanică, cât şi putere electrică, şi le transformă în căldură prin efect Joule.

Maşinile de curent alternativ rotative se împart în două mari clase: *maşini sincrone* şi *maşini asincrone*. Maşina sincronă este caracterizată prin faptul că viteza sa de rotație (sau de deplasare, oscilație) se află într-o relație fixă cu frecvența tensiunii de alimentare a rețelei, independent de regimul de funcționare (stabil) al maşinii şi de gradul de încărcare (în limitele admisibile). La maşina asincronă viteza de rotație (sau deplasare) nu se mai află, în raport constant cu frecvența tensiunii de alimentare a rețelei şi variază odată cu schimbarea regimului de funcționare sau cu variația gradului de încărcare a maşinii. Maşinile asincrone pot fi simple (sau de inducție), în care sunt conectate la rețeaua de alimentare numai înfăşurările unei armături (statorul) sau pot fi prevăzute şi cu un colector, organ caracteristic maşinilor de curent continuu, în care se pot obține caracteristici aparte.

Din punct de vedere al utilizării practice se disting maşini electrice de utilizare directă şi maşini electrice de utilizare indirectă. În categoria maşinilor de utilizare directă se disting generatoarele şi motoarele electrice. În categoria maşinilor de utilizare indirectă intră maşinile electrice convertizoare (de frecvență, de felul curentului electric, de număr de faze, etc.), maşinile electrice regulatoare (compensatoare, excitatoare, amplificatoare), maşinile electrice de măsurare (tahogeneratoare, selsine, etc.), frânele ş. a. Din punct de vedere cinematic, maşinile electrice pot fi cu rotorul interior (construcție normală, cel mai des folosită) şi cu rotorul exterior. Din punct de vedere al configurației rotorului, maşinile electrice pot fi cu rotor cilindric (construcția clasică a maşinilor de putere mare sau mică) sau cu rotor în formă de disc (numai la puteri mici). Rotorul cilindric poate fi cu poli înecați (neted) sau cu poli aparenți.

După criteriul puterii, maşinile electrice se împart în *micromaşini* (până la 100 W), maşini mici (până la 5 kW), *maşini de putere mijlocie* (până

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

la 100 kW), maşini de mare putere (până la 50 MW) şi *maşini de putere foarte mare* (până la 1200 MW, atins în prezent la turbogeneratoare). După tensiunea de funcționare, maşinile electrice pot fi de *joasă tensiune* (până la 1000 V), de *medie tensiune* (până la 20 kV) şi de *înaltă tensiune* (peste 20 kV) . Funcție de viteza nominală, maşinile electrice pot fi *lente* (până la 250 rot/min), *de viteză mijlocie* (până la 1000 rot/min), *rapide* (1000-6000 rot/min) şi *maşini ultrarapide* (peste 6000 rot/min).

În cele ce urmează vor fi tratate din punct de vedere al serviciului de determinare al punctului de funcționare numai ***maşina electrică asincronă funcționând în regim de motor*** şi ***transformatorul electric de distribuție***. Acestea sunt maşinile electrice cele mai utilizate (consumator şi sursă de energie) din instalațiile electrice actuale de joasă tensiune.

3.1 Elemente constructive de bază şi materialele folosite în ale maşinilor electrice -materiale folosite

Din punct de vedere cinematic, maşinile electrice rotative prezintă două părți distincte: statorul şi rotorul. În principial atât rotorul cât şi statorul pot îndeplinii rolul de inductor sau de indus. Din punct de vedere al rolului funcțional pe care-l îndeplinesc, la orice maşină electrică se disting 5 sisteme de elemente [Guru00, Gav94] : sistemul magnetic, sistemul electric, sistemul mecanic, sistemul de răcire (ventilație) şi sistemul de măsurare, reglare, protecție şi acces.

Sistemul magnetic constă dintr-un miez feromagnetic continuu, în formă de cadru- la transformatoare, sau dintr-un miez feromagnetic mai complex, separat în două prin intermediul unui „întrefier" – la maşinile rotative. Cele două porțiuni ale miezului feromagnetic se mai numesc şi armături. Miezul din fier este confecționat din tole de oțel electrotehnic de 0.35, 0.5 sau 1 mm grosime. ***Sistemul electric*** constă în una sau mai multe înfăşurări izolate unele față de altele şi față de sistemul magnetic, mecanic sau de ventilație. Înfăşurările sunt dispuse astfel încât să îmbrățişeze miezul (sistemul) magnetic la transformator, respectiv sunt introduse în crestături

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

(şanțuri de-a lungul generatoarelor) dispuse la periferia dintre întrefier a armăturilor (stator sau rotor) la maşinile rotative. ***Sistemul mecanic*** reuneşte toate elementele componente ale maşinii şi trebuie să asigure rigiditatea acesteia, posibilitățile de transport şi ridicare. Sistemul mecanic al maşinilor rotative constă dintr-un arbore pe care este dispus rotorul, din lagăre, scuturi sau port-lagăre, carcasă etc. ***Sistemul de răcire*** constă în general dintr-un sistem de canale prin care circulă agentul de răcire (apă, aer, ulei, hidrogen etc.) forțat prin presiunea creată de ventilatoare (amplasate in interiorul sau in exteriorul maşinii) sau prin convecție liberă. Uneori, în special la transformatoare şi maşini de putere mari, în sistemul de răcire intervin şi schimbătoare de căldură, pentru a separa agentul de răcire de mediul exterior.

Materialele folosite în construcția maşinilor şi transformatoarelor electrice pot fi integrate în trei categorii: materiale constructive, materiale active şi materiale izolante. ***Materialele constructive*** sunt destinate realizării acelor părți ale maşinii care servesc la preluarea sau transmiterea eforturilor mecanice, respectiv la consolidarea întregii construcții a maşinii sau transformatorului. Materialele folosite în acest scop în maşinile electrice sunt aceleaşi ca în orice construcție de maşini: fonta (cenuşie, maleabilă, specială nemagnetică), oțelul (turnat, laminat, aliat, special nemagnetic), diferite metale şi aliaje neferoase şi materiale plastice. ***Materialele active*** servesc la crearea condițiilor de generare a proceselor electromagnetice; ele sunt de două feluri: *materiale magnetice* şi *materiale electroconductoare*. Materialele magnetice sunt materiale de regulă feromagnetice (oțelul electrotehnic, fonta, oțeluri speciale) de înaltă permeabilitate şi conductivitate mică (pierderi specifice mici). Materialele electroconductoare sunt, în principal, constituite din Cu sau Aluminiu de înaltă puritate şi aliaje ale acestora. Uneori materialele active pot juca şi un rol mecanic (constructiv), în care caz ele trebuie să aibă proprietăți mecanice, electrice şi magnetice corespunzătoare. ***Materialele izolante*** servesc la izolarea electrică a părților electroconductoare ale maşinilor şi transformatoarelor între ele şi față de celelalte părți. În funcție de proprietățile lor, acestea, se

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

împart în şapte clase (de stabilitate termică), după temperaturile limită de funcționare admise [Gav94]: Y (90 °C), A (105 °C), E sau AB (130 °C), F sau BC (155 °C), H sau CB (180 °C) şi C (peste 180°C).

Regimul de funcționare pentru care este destinată maşina electrică sau transformatorul se numeşte *regim nominal de funcționare*. El este caracterizat prin mărimile înscrise de producătorul echipamentului pe eticheta (plăcuța) maşinii. Acestea *se numesc mărimi nominale*. Se disting astfel puteri, tensiuni, curenți electrici, viteze nominale de rotație ş. a. ***Puterea nominală*** este definită, convențional, în modul următor:

- reprezintă *puterea electrică* la borne în regimul nominal al generatorului (exprimată în kW pentru maşinile de c.c. respectiv în kVA la maşinile de c.a.)
- reprezintă *puterea mecanică* la arbore în regimul nominal al motorului (exprimată în kW sau CP- cai putere, 1 CP = 0,7355 kW)
- reprezintă *puterea aparentă* la bornele primare în regim nominal al transformatorului sau convertizorului (exprimată în kVA)

Funcționarea maşinii sau transformatorului în condiții nominale poate fi continuă (de lungă durată), de scurtă durată sau intermediară. În ultimul regim se poate distinge o durată activă relativă de lucru şi o durată a ciclului de lucru. O succesiune de regimuri defineşte un serviciu de funcționare al convertorului electromecanic. Regimurile de funcționare standardizate sunt precizate de SR EN 60034-1:2005 pentru maşinile electrice rotative [Ema04] şi de SR EN 50464-1:2007 pentru transformatoare [Ken97].

4. Motorul electric asincron utilizat în instalaţiile electrice

Motorul electric asincron trifazat reprezintă principalul receptor al instalațiilor electrice industriale. Se apreciază că motoarele asincrone au o pondere de circa 75 % din tot consumul energetic pentru consumatorii industriali de joasă tensiune [Com83, Wili05]. Acest lucru se datorează în special robusteții şi uşurinței în utilizare a acestui tip de motor.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

4.1 Caracteristicile de funcţionare ale motorul electric asincron

Caracteristicile cele mai importante ale motorului asincron, care prezintă interes atât pentru stabilirea funcționării sale în rețea, cât şi pentru dimensionarea rețelei sunt: tensiunea nominală, cuplurile mecanice dezvoltate în timpul funcționării, regimul de pornire, caracteristica mecanică, precum şi variația parametrilor funcție de puterea utilă sau de tensiunea de alimentare.

Tensiunea nominală U_n a motoarelor asincrone (tensiunea între faze la bornele maşinii) poate avea valorile: 230, 400, 690 V (joasă tensiune) sau 6, 10 20 kV (medie tensiune). Dacă maşina poate fi folosită cu conexiunea înfăşurărilor statorice atât in stea cât şi în triunghi, pe plăcuța indicatoare apar notează două valori ale tensiunii nominale. Astfel, într-o rețea cu tensiunea de linie 380 V, motorul cu tensiunile 380/220 V va putea funcționa numai în stea, pe când motorul cu tensiunile 660/380 V funcționează la parametrii nominali la conectarea in triunghi şi poate fi conectat in stea fie la pornire fie în cazul subîncărcării (reducându-se la 1/3 cuplul dezvoltat).

Puterea nominală P_n a motoarelor asincrone, definită ca putere mecanică la arborele maşinii, acoperă o gamă de la sute de wați la mii de kilowați, cel mai utilizate fiind motoarele de puteri mijlocii (până la 100 kW alimentate în joasă tensiune). Consumul ridicat de putere reactivă limitează folosirea motoarelor asincrone de puteri peste 100 kW. Motoarele cu puteri de 200 kW şi mai mari se construiesc numai alimentate în medie sau înaltă tensiune (cel mai adesea la 6 kV, 10 kV sau chiar 20 kV).

Randamentul nominal η_n al motorului reprezintă raportul dintre puterea mecanică nominală la arbore P_n şi puterea electrică absorbită de acesta P_{1n} în regim nominal: $\eta_n = P_n / P_{1n}$.

Factorul de putere nominal $\cos\varphi_n$ reprezintă raportul dintre puterea electrică activă P_{1n} şi puterea electrică aparentă S_n absorbite de motor în regim nominal: $\cos\varphi_n = P_{1n} / S_n$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Turația nominală n_n a motoarelor asincrone indicată de producător are o valoare imediat inferioară turației de sincronism n_1, care este determinată funcție de frecvența f a tensiunii de alimentare şi numărul de perechi de poli p ai maşinii: $n_1 = 60f/p \quad [rot/\min]$. La frecvența industrială de f = 50Hz, turația de sincronism poate lua una din valorile: 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500, 428,6, 375, 333,3, 300 [rot/min].

Practic rotorul maşinii asincrone se roteşte cu o viteză unghiulară diferită de viteza unghiulară a câmpului magnetic învârtitor (creat de stator): $\Omega_2 = 2\pi n \neq \Omega_1 = 2\pi n_1$. De aici şi denumirea de maşină asincronă. Prin definiție, diferența relativă de viteză unghiulară dintre câmpul magnetic învârtitor şi rotor se numeşte ***alunecare*** şi are expresia: $s = \frac{\Omega_1 - \Omega_2}{\Omega_1} = \frac{n_1 - n}{n_1}$.

De cele mai multe ori producătorii de motoare asincrone indică ***alunecarea nominală*** s_n, cu care se poate uşor determina turația nominală: $n_n = n_1(1 - s_n)$.

Curentul nominal I_n este dat de relația: $I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \eta_n \cos\varphi_n}$, în care P_n este puterea motorului, η_n este randamentul, iar $\cos\varphi_n$ factorul de putere în regim nominal (mărimi nominale-date de catalog).

Pentru efectua estimări cantitative asupra parametrilor de funcționare ai motorului asincron, se foloseşte ca model de calcul o schema echivalentă de circuit a maşinii [Mor10, Gav94], prezentată în Figura 2, unde este indicată şi circulația de puteri active. Schema foloseşte următoarele notații:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

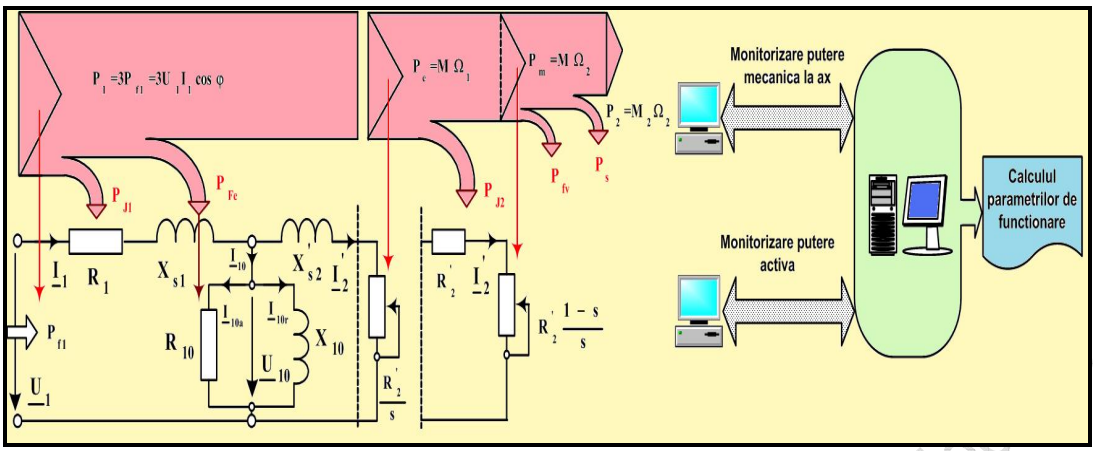


Figura 2. Modelul de circuit al motorului asincron şi circulația de puteri active şi reactive din maşină .

$\underline{U}_1$ - valoarea complexă a tensiunii la bornele statorului, $\underline{I}_1$ - valoarea complexă a curentul la bornele statorului, R_1 - rezistența de fază a statorului, X_{s1} - reactanța de scăpări a statorului,

$\underline{I}_2$ - valoarea complexă a curentului rotoric raportat la stator ca $\underline{I}_2'$, R_2 - rezistența de fază rotorică raportată la stator ca R_2'/s, X_{s2} - reactanța de scăpări de fază rotorică raportată la stator ca X_{s2}',

$\underline{U}_{10}$ - valoarea complexă a tensiunii electromotoare induse pe fază în stator egală cu tensiunea electromotoare indusă pe fază în rotor dar raportată la stator $\underline{U}_{20}'$,

$\underline{I}_{10}$ - valoarea complexă a curentului de mers în gol ($n = n_1$, $s = 0$, $I_2 = 0$, $R_2'/s \to \infty$), $\underline{I}_{10a}$, $\underline{I}_{10r}$ - componenta activă şi reactivă a curentului de mers în gol

R_{10} - rezistența pe fază corespunzătoare pierderilor de putere activă în miezul feromagnetic, X_{10} - reactanța utilă sau de magnetizare a miezului feromagnetic pe fază.

Cuplul electromagnetic dezvoltat de motorul asincron, la alimentarea în rețea cu tensiunea U şi frecvență f, variază in timpul pornirii în funcție de alunecarea s conform Figurii 3, fiind dat de expresia [Mor10]:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor ele

$M(s) = \dfrac{3pR_2'U_1^2}{s\omega_1\left[\left(R_1 + R_2'/s\right)^2 + \left(X_{s1} + X_{s2}'\right)^2\right]}$. Se remarcă următoarele valori caracteristice:

Cuplul inițial de pornire M_p (cuplul de mai mare dezvoltat de motor când rotorul este imobil), acesta se determină din relația cuplului electromagnetic când alunecarea este unitară: $M_p = \dfrac{3pR_2'U_1^2}{\omega_1\left[\left(R_1 + R_2'/s\right)^2 + \left(X_{s1} + X_{s2}'\right)^2\right]}$. Acesta este dependent de rezistența înfăşurării rotorice, reprezentând o caracteristică a maşinii cu rotorul în colivie şi putând fi variat (crescut) la motorul cu inele.

Cuplul maxim M_m (cuplul cel mai mare dezvoltat de motor în condiții de funcționare) şi rezultă din relația cuplului electromagnetic pentru o anumită valoare a alunecării, numită *alunecare critică* [Mor10, Gav94]: $s_{max} = \dfrac{R_2'}{\sqrt{(R_1)^2 + \left(X_{s1} + X_{s2}'\right)^2}} \approx \dfrac{R_2'}{X_{s1} + X_{s2}'}$ şi are expresia: $M_m = \dfrac{3pU_1^2}{2\omega_1\left[R_1 + X_{s1} + X_{s2}'\right]}$.

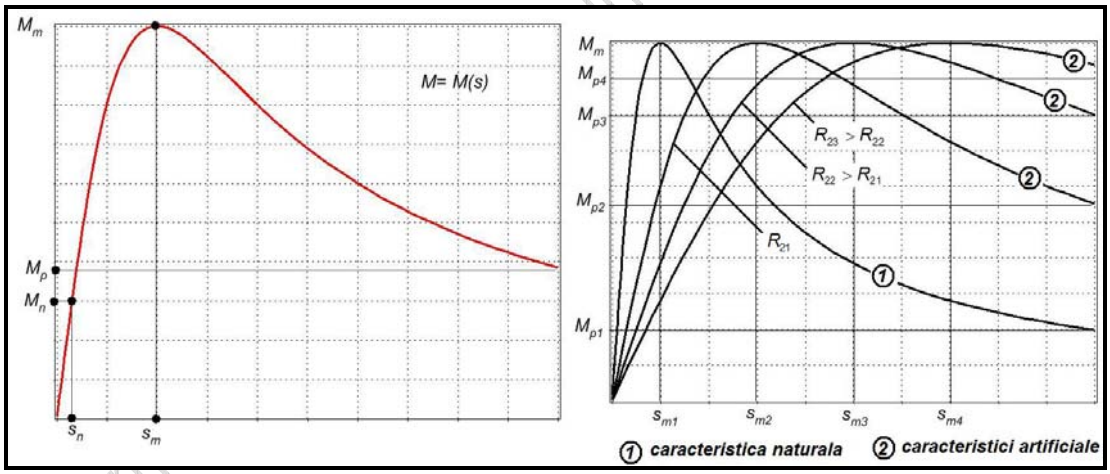


Figura 3. Variația cuplului electromagnetic funcție de alunecare şi modul de variație a caracteristicii funcție de rezistența rotorului.

Cuplul maxim este o constantă a maşinii independentă de rezistență rotorică, în timp ce alunecarea critică este determinată de rezistența rotorică, ceea ce permite deplasarea cuplului maxim prin varierea rezistenței rotorice (la rotorul cu inele) şi varierea cuplului de pornire care poate să atingă valoarea cuplului maxim - Figura 3.

În practica curentă, pentru a obține modul de variație al cuplului electromagnetic funcție de alunecare, se foloseşte o relație acoperitoare cunoscută drept formula lui Klöss [Mor10, Gav94]: $M(s) = \frac{2M_m}{(s/s_m) + (s/s_m)}$.

Cuplul nominal M_n se deduce pe baza puterii nominale a P_n a motorului: $M_n = P_n/\Omega_n = 60P_n/(2\pi n_n) = 9950P_n/n_n$, unde puterea este in kW, turația de nominală în rot/min, iar cuplul rezultă în Nm. Acesta corespunde alunecărilor nominale s_n, ale cărei valori aparțin intervalului 0.01÷ 0.06 (valori sunt mai mari la puteri unitare mai mici).

În datele sale de catalog sunt prezentatele următoarele cupluri ale motorului:

- *Cuplul nominal* – implicit prin indicarea puterii nominale

-*Cuplul maxim* – prin indicarea raportului $k_m = M_m/M_n$, denumit ***capacitate de supraîncărcare*** şi având valori de maxim 2.

- *Cuplul de pornire* prin raportul M_p/M_m. La motorul în colivie raportul ia valori în limitele 1.2 ÷ 2.2 iar la motoarele cu inele acest raport poate fi variat între 0.5 şi capacitatea de supraîncărcare (se remarcă valoarea mai scăzută a cuplului de pornire corespunzător parametrilor înfăşurării rotorice față de motorul cu rotorul în colivie).

De remarcat *dependența cuplurilor motoarelor asincrone de pătratul tensiunii* de alimentare. De acest lucru trebuie să se țină seama, printre altele, când se adoptă pierderea de tensiune maximă admisibilă în rețea.

Caracteristica mecanică a motorului asincron este reprezentată de curba turației n în funcție de cuplul electromagnetic M – Figura 4. Funcționarea motorului pe porțiunea $n_1 \div n_m$ (corespunzătoare variației cuplului rezistent M_r sub valoarea cuplului maxim) este stabilă. Dacă $M_r > M_n$, ceea ce se poate întâmpla la creşterea cuplului rezistent sau la scăderea cuplului electromagnetic (prin scăderea tensiunii), are loc supraîncălzirea motorului, iar dacă $M_r > M_m$, se produce „desprinderea" motorului urmată de oprirea lui; din acest motiv cuplul maxim este denumit şi *cuplu de*

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

desprindere (sau de răsturnare), iar alunecarea corespunzătoare- *alunecare de desprindere*.

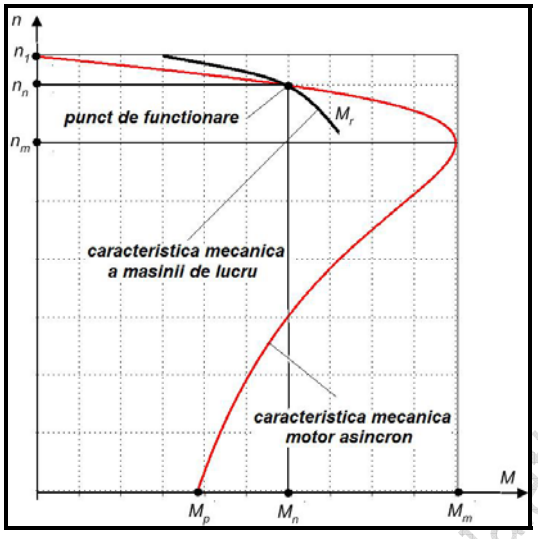


Figura 4. Caracteristica mecanică a motorului asincron- identificarea punctului de funcționare.

Datorită faptului că turația motorului asincron variază foarte puțin cu sarcina se spune că motorul are o caracteristică mecanică „dură”.

Motoarele asincrone sunt mari consumatoare de putere reactivă, ponderea lor în consumul de putere reactivă la nivelul întregii instalații industriale reprezentând circa 60 %. Cea mai mare parte din energia reactivă absorbită (peste 70 %) serveşte la crearea câmpului magnetic în întrefier, fiind independentă de sarcina motorului.

4.2 Serviciul de estimare a solicitării instalaţiei electrice la pornirea motorului asincron

Motorul asincron este un receptor deosebit, al cărui regim nominal ne se stabileşte imediat după conectarea la rețea, ci este precedat de aşa numitul *regim de pornire* în care mărimile electrice şi mecanice ale maşinii se modifică pe măsura accelerării rotorului. Drept parametrii pentru analiza acestor modificări se alege fie timpul *t* fie alunecarea *s* = 0..1.

La motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit (în colivie), variația în timp a curentului absorbit de motor în regim de pornire – Figura 5, relevă

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

valori mult superioare valorii normale corespunzătoare sarcinii nominale. Se observă că pe durata de accelerare a rotorului până la turația nominală n_n (timpul de accelerare nominal), curentul prezintă o variație, a cărei valoare scade rapid după depăşirea a circa 60 % din turația nominală. Timpul de accelerare coincide practic cu timpul de pornire, determinat de durata din momentul conectării până în momentul atingerii turației nominale.

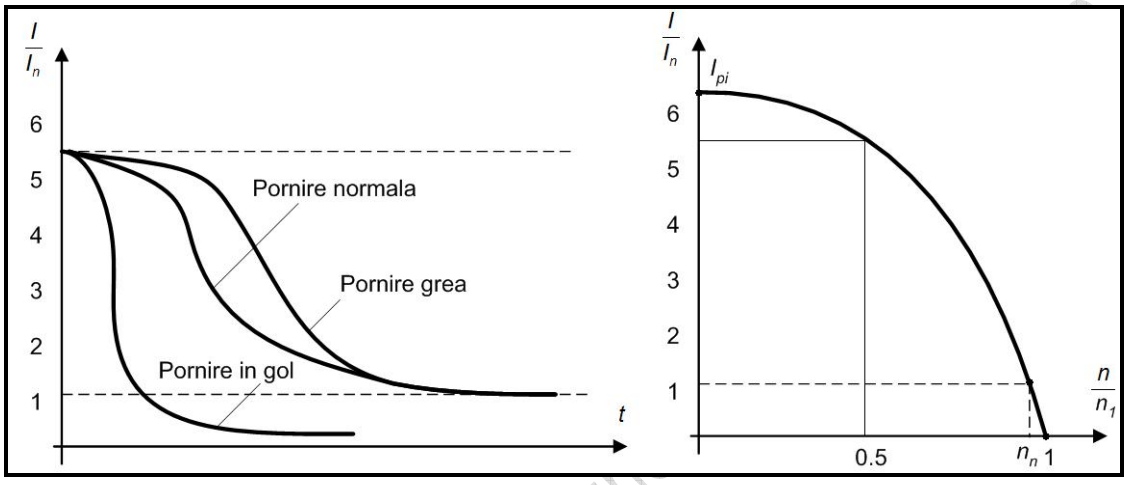


Figura 5. Variația curentului de pornire al motorului funcție de timp şi de turație.

Timpul de accelerare nominal numit şi ***timp de pornire*** t_p, depinde de momentul de volant Gd^2 al ansamblului motor-cuplaj-reductor-maşină antrenată în kgm^2 şi de valoarea cuplului de accelerare, dat de diferența dintre cuplul electromagnetic M şi cuplul rezistent M_r, conform relației [Saa81]: $t_p = \frac{Gd^2 n_n}{375(M - M_r)}$, în care M şi M_r sunt date în kgm, turația în rot/min iat t_p este dat în *s*. Relația anterioară, care este soluția unei ecuații diferențiale ce modelează procesul dinamic al pornirii, este mai mult o estimare calitativă deoarece cele două momente sunt variabile pe durata pornirii. Timpul de pornire depinde prin urmare de sarcina motorului, la încărcări mari corespunzând timp mari de pornire. În funcție de durata pornirii, se disting : porniri uşoare (t_p < 4 s), porniri normale (t_p= 4 ÷10 s) şi porniri grele (t_p > 10 s). Variația in timp a curentului de pornire în funcție de „dificultatea" pornirii este reprezentată calitativ în Figura 5. Cu cât durata pornirii este mai mare, cu atât solicitarea termică suplimentară a motorului

Sisteme informatice de gestiune

şi a rețelei, datorită curentului de pornire este mai mare. Pornirile frecvente contribuie, de asemenea, la creşterea solicitării termice în elementele rețelei.

Valoarea efectivă a curentului absorbit de motor în timpul pornirii este denumită curent de pornire I_p, care aşa cum s-a menționat nu are o valoare constantă fiind funcție de alunecarea s [Gav94]: $I_{pi} = U_1 \frac{\sqrt{1+\left(R_1 + R_2^{'}/(sX_{10})\right)^2}}{\sqrt{\left(R_1 + R_2^{'}/s\right)^2 + \left(X_1 + X_2^{'}\right)^2}}$. Valoarea inițială (la turație zero, respectiv alunecare $s = 1$, când rotorul este imobil) a curentului de pornire se numeşte curent inițial de pornire I_{pi} şi se determină după dispariția regimului tranzitoriu care ia naştere la conectarea motorului. Uneori, curentul inițial de pornire este denumit şi *curent de calare al motorului* deoarece corespunde funcționării maşinii cu rotorul calat (blocat). Avându-se în vedere că $R_2^{'}/X_{10} << 1$, curentul inițial de pornire se poate evalua cu relația: $I_{pi} = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + R_2^{'}\right)^2 + \left(X_{s1} + X_{s2}^{'}\right)^2}}$, reprezentând o *caracteristică a motorului cu rotorul în scurtcircuit*, care nu depinde de sarcina acestuia ci numai de impedanța echivalentă a maşinii; valoarea sa este aceeaşi, indiferent dacă pornirea se face în gol sau în sarcină, fapt de care trebuie ținut seamă la proiectarea rețelei de alimentare. Curentul inițial de pornire este indicat ca dată de catalog prin raportul I_p/I_n (numit şi ***factor de pornire*** k_P), care variază in funcție de puterea şi turația de sincronism a acestuia. Astfel la puteri de peste 1,5 kW şi turații de 1000, 1500 şi 3000 [rot/min] factorul de pornire se încadrează în intervalul 5.5 ÷ 7.5.

Amplitudinea curentului maxim în momentul conectării, numit ***curent de vârf la conectare***, reprezintă valoarea maximă a curentului tranzitoriu şi poate atinge de 2.5 ori valoarea efectivă a curentului de pornire. Efectul termic al curentului de conectare este neglijabil din cauza duratei foarte mici; în schimb trebuiesc considerate efectele electrodinamice şi posibilitatea declanşării unor relee/declanşatoare electromagnetice directe care nu prezintă o temporizare minimă [Com83].

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Pentru a evita importantele solicitări mecanice şi termice ale maşinii şi ale rețelei electrice de alimentare la care este conectat motorul datorate curentului de pornire, normativele în vigoare [Nor02] limitează puterea motoarelor de joasă tensiune ce se pot porni prin cuplare directă la rețea la 5.5 kW şi numai dacă puterea motorului nu depăşeşte 20 % din cea a transformatorului care alimentează rețeaua. Pentru motoarele cu puteri mai mari se pot aplica, funcție de putere şi regimul de funcționare, următoarele metode de pornire [Gav94]: pornire stea-triunghi, pornirea cu ajutorul unor rezistente (reostate) sau bobine înseriate în circuitul statorului, pornirea cu autotransformator sau mai nou folosirea convertizoarelor statice de frecvență [Gol10].

4.2.1 Serviciul de control a curentului electric de pornire motor asincron prin softstarter

Controlul curentului electric de pornire, în cazul motoarelor asincrone alimentate prin intermediul convertoarelor de frecvență, se face implicit, odată cu reglarea frecvenței tensiunii de alimentare [Gol10].

În cazul motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, fără reglarea vitezei de rotație, controlul curentului electric de pornire se face cu ajutorul variatoarelor de tensiune alternativă (VTA), numite în mod obişnuit ***softstartere***. Acestea conțin dispozitive electronice de putere comandabile (triace, tiristoare, IGBT-uri etc.) la care prin reglarea unghiului de intrare în conducție între valoarea 0 şi π are loc modificarea valorii efective a tensiunii la bornele maşinii între zero şi valoarea tensiunii de fază, fiind astfel posibilă reglarea valorii curentului electric în înfăşurarea maşinii.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

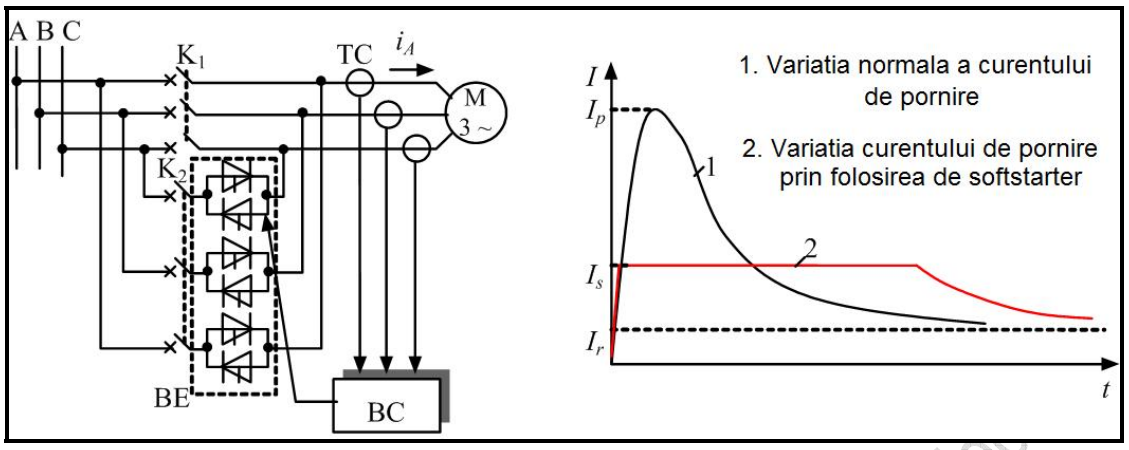


Figura 6. Schema de principiu a unui softstarter şi variația în timp a curentului de pornire.

În principiu, funcționarea unui softstarter este prezentată în Figura 6. Blocul de comandă BC este setat pentru valoarea maximă I_s a curentului electric pe durata procesului de pornire (în mod obişnuit $I_s = (2 \div 3) \cdot I_n$). Pe durata procesului de pornire, contactorul K_1 este deconectat, iar maşina asincronă este conectată în serie cu blocul de execuție BE, prin închiderea contactorului K_2. Informațiile privind curentul electric din circuit sunt obținute prin intermediul traductoarelor de curent electric TC. După terminarea procesului de pornire, contactorul K_1 este închis, iar blocul de execuție BE este scos din circuit prin deconectarea contactorului K_2. Controlul curentului electric în circuit are loc prin reglarea unghiului de intrare în conducție a elementelor semiconductoare în schemă.

4.3 Serviciul de evaluarea a bilanţului energetic a motorului electric asincron

Motorul asincron trifazat primeşte de la rețeaua electrică de alimentare o putere electrică activă P_1. O parte se pierde în înfăşurarea statorică prin efect Joule-Lenz P_{J1} şi o altă parte în miezul feromagnetic statoric P_{Fe1}. Puterea activă rămasă este transmisă rotorului prin câmpul electromagnetic şi se numeşte putere electromagnetică P_e. Puterii electromagnetice îi corespunde, la nivelul întrefierului un cuplu electromagnetic $M = P_e / \Omega_1$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor

În rotor pierderile în miezul feromagnetic sunt neglijabile datorită frecvenței foarte mici ($f_2 = sf_1$) astfel încât pierderile în fier sunt practic egale cu pierderile în miezul statoric $P_{Fe} = P_{Fe1}$. Dacă se notează cu P_{J2} pierderile Joule-Lenz în înfăşurarea rotorică, puterea mecanică transmisă rotorului este egală cu puterea electromagnetică minus pierderile în rotor: $P_m = P_e - P_{J2} = M\,\Omega_2$.

Din puterea mecanică o parte sunt pierderi mecanice ΔP_m formate din pierderile prin frecări şi ventilație P_{fv} respectiv pierderi suplimentare P_s datorate cuplurilor de frânare create de armonicile superioare ale câmpului magnetic învârtitor: $\Delta P_m = P_{fv} + P_s$. Scăzând din puterea mecanică pierderile mecanice rezultă puterea mecanică utilă la ax $P_2 = P_m - \Delta P_m = M_2\ \Omega_2$, corespunzătoare cuplului util şi vitezei unghiulare a motorului.

Având în vedere modelul de circuit al motorului, prezentat în Figura 2, expresiile cantitative ale acestor puteri vor fi: $P_1 = 3P_{f1} = 3U_1 I_1 \cos\varphi_1$, $P_{J1} = 3R_1 I_1^2$, $P_{Fe} = 3\dfrac{U_{10}^2}{R_{10}} = 3R_{10}I_{10a}^2 = 3U_{10}I_{10}\cos\varphi_{10}$, $P_{J2} = 3R_2^{'}I_2^{'\,2} = 3R_2 I_2^2$,

$P_e = 3\dfrac{R_2^{'}}{s}I_2^{'\,2} = \dfrac{1}{s}P_{J2} = M\Omega_1$, $P_m = 3\dfrac{1-s}{s}R_2^{'}I_2^{'\,2} = \dfrac{1-s}{s}P_{J2} = (1-s)P_e = P_2 + \Delta P_m = M\cdot\Omega_2$.

Pierderile Joule-Lenz în înfăşurări sunt: $P_J = P_{J1} + P_{J2}$, iar pierderile totale sunt egale cu: $\Delta P = P_J + P_{Fe} + \Delta P_m$. Puterea utilă la ax va fi: $P_2 = P_m - \Delta P_m = M_2\Omega_2$, unde cuplul util M_2 are expresia: $M_2 = M - \Delta M = M - \dfrac{\Delta P_m}{\Omega_2}$, $M_0 = \Delta M = \dfrac{\Delta P_m}{\Omega_2}$ fiind pierderea de cuplu datorată pierderilor mecanice sau cuplul de mers in gol.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

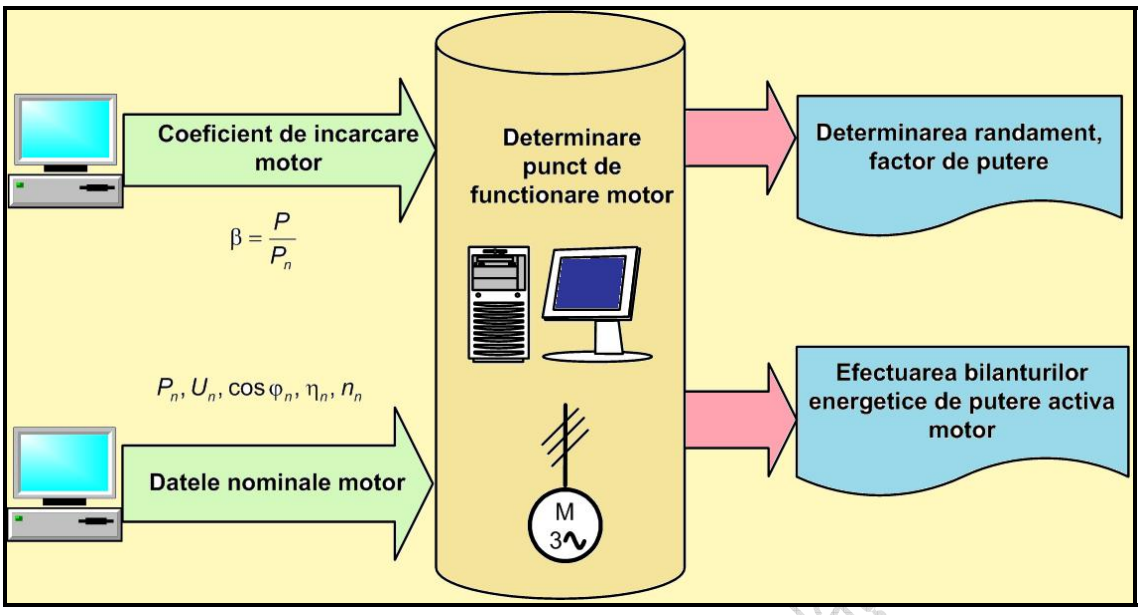


Figura 7. Determinarea automată a bilanțului energetic al motorului asincron.

După cum se constată din analiza relațiilor de mai sus, pentru o funcționare staționară la o tensiune de alimentare de o frecvență constantă, componentele de bilanț sunt exprimate prin relații ce conțin parametrii motorului şi valoarea alunecării care depinde de gradul de încărcare (de valoarea sarcinii cerută la arbore de către maşina de lucru). În general, prin ***grad de încărcare***, notat cu β, se înțelege raportul dintre puterea mecanică dezvoltată la arbore şi cea nominală a motorului: $\beta = P_2 / P_n$.

Deoarece determinarea experimentală în condiții de exploatare a puterii la arbore ridică o serie de dificultăți, pentru definirea încărcării motorului s-a adoptat utilizarea unuia din următorii indicatori [Pot89]: ***gradul de încărcare cu putere activă***, definit ca raportul dintre puterea activă absorbită în regimul considerat şi cea nominală: $\beta_P = P_1 / P_{1n}$ sau ***gradul de încărcare cu curent***, care este raportul dintre curentul de regim şi cel nominal: $\beta_P = I_1 / I_n$. Având în vedere că măsurarea mărimilor P_1 şi I_1 este realizabilă practic uşor (prin citirea aparatelor de măsură), avantajul folosirii ultimilor indicatori este evident. Figura 7 prezintă modul automat de evaluare a bilanțului energetic pentru motorul asincron precum şi a determinării diverşilor parametrii de regim.

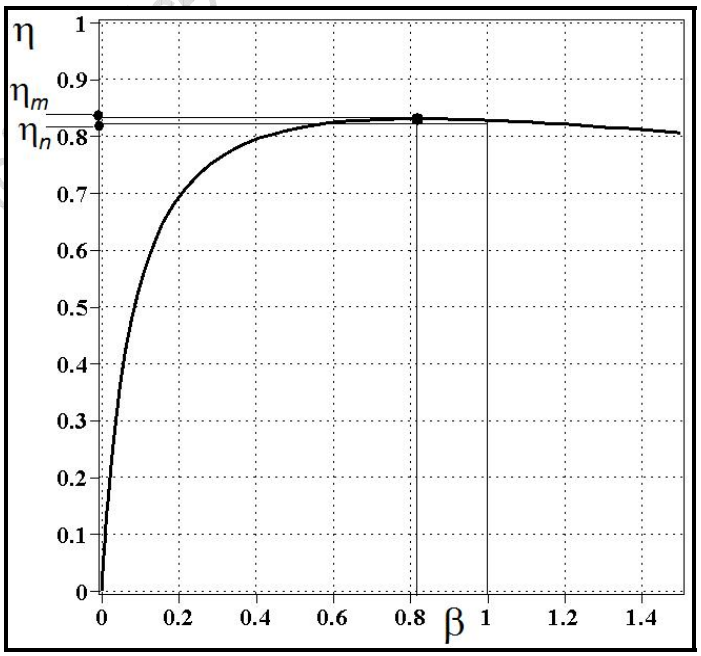
Sisteme informatice de gestiune a instalaț

4.4 Serviciul de predeterminare a caracteristicii randamentului şi a factorului de putere al motorului - efectul acestora în instalaţia electrica de joasa tensiune

Randamentul motorului definit întotdeauna ca raportul dintre puterea utilă şi puterea consumată va avea expresia: $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$.

Având în vedere cele descrise în secțiunile anterioare, rezultă că randamentul are expresia: $\eta(P_2) = \frac{P_2}{P_2 + P_J + P_{Fe} + \Delta P_m}$ şi are graficul ca în Figura 8. Pierderile în fier P_{Fe} şi pierderile mecanice ΔP_m sunt practic constante la mers în gol şi în sarcină astfel încât suma lor constituie pierderile de mers în gol: $\Delta P_0 = \Delta P_m + P_{Fe}$.

Rezultă că expresia randamentului se poate scrie şi sub forma simplificată: $\eta(P_2) = \frac{P_2}{P_2 + P_J + \Delta P_0}$, iar randamentul nominal va fi: $\eta_n = \frac{P_{2n}}{P_{2n} + P_{Jn} + \Delta P_0}$, unde $P_{2n} = P_n$ este puterea nominală a motorului iar P_{Jn} sunt pierderile Joule-Lenz nominale.



Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Figura 8. Variația randamentului maşinii asincrone funcție de încărcare.

Dacă valorile efective ale tensiunilor de alimentare, pe fază, în stator sunt constante şi dacă se neglijează pierderile prin frecare şi prin ventilație rezultă expresia randamentului funcție de încărcarea motorului [Saa81]:

$$\eta(\beta) = \frac{\sqrt{3}U_n I_n \beta \cos\varphi - \left(\beta^2 \Delta P_{Jn} + \Delta P_0\right)}{\sqrt{3}U_n I_n \beta \cos\varphi}.$$

Din ecuația $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$ se obține valoarea încărcării pentru care randamentul motorului este maxim: $\beta_0 = \sqrt{\frac{P_0}{P_{sc}}}$ şi are valoarea

$$\eta_m = \frac{\sqrt{3}U_n I_n \cos\varphi - 2\sqrt{\Delta P_{Jn}\Delta P_0}}{\sqrt{3}U_n I_n \cos\varphi}.$$

Randamentul motoarelor asincrone are o valoare maximă η_m puțin mai mare decât randamentul nominal η_n pentru o putere de circa (0,6÷0,8) din puterea nominală. Randamentul nominal al motoarelor asincrone are valori cuprinse în intervalul η_n = 0,6 ÷ 0,9 şi creşte cu creşterea puterii nominale a motoarelor.

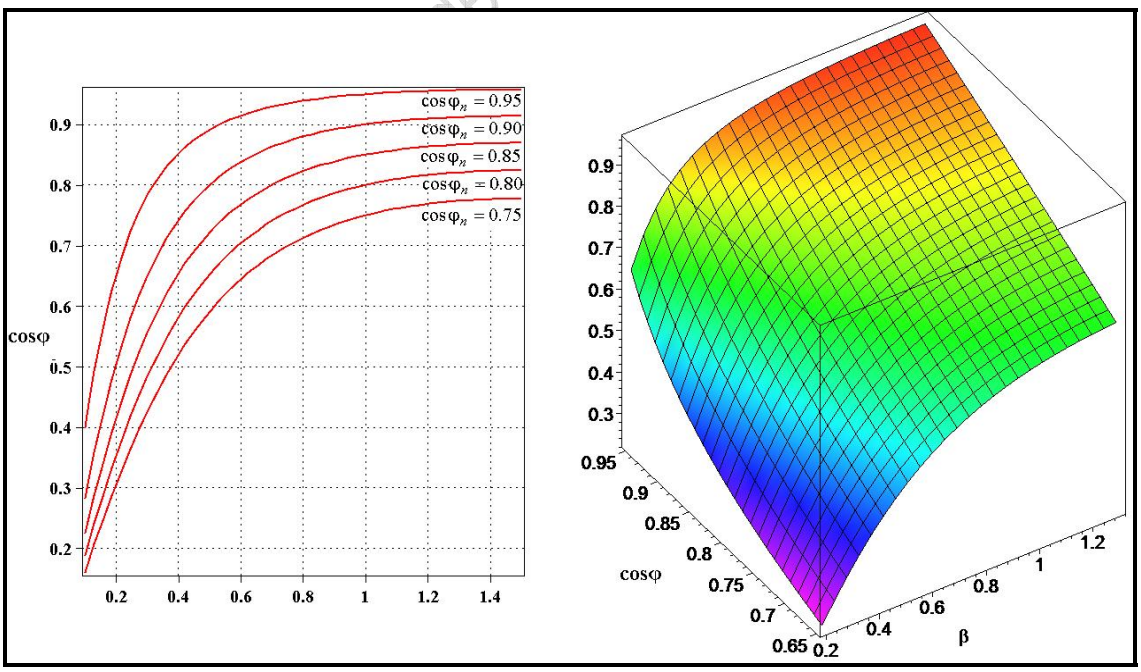


Figura 9. Variația factorului de putere a maşinii asincrone funcție de încărcare şi de factorul de putere nominal.

Caracteristica factorului de putere a motorului asincron este definită prin relația $\cos\varphi_1 = f(P_2)$, pentru tensiune de alimentare $U_1 = U_{1n}$ = const. şi frecvență a tensiunii de alimentare $f_1 = f_{1n}$ = const. Fiind un receptor inductiv, motorul asincron trifazat absoarbe de la rețea, în regim simetric echilibrat, un curent de fază defazat în urmă față de tensiunea de fază. Acest lucru reflectă faptul că motorul consumă o putere reactivă necesară magnetizării circuitului magnetic al maşinii şi are un factor de putere subunitar.

Puterea reactivă Q absorbită de motorul asincron, la o sarcină oarecare P, se determină cu relația [Com03]: $Q = Q_0 + Q_d = Q_n\left[\alpha + (1-\alpha)\cdot\beta^2\right] = Q_0 + (Q_n - Q_0)\beta^2$, în care $\alpha = Q_0/Q_n$ este raportul dintre puterea reactivă Q_0 la funcționarea în gol ($\beta = 0$) şi puterea reactivă Q_n absorbită la sarcină nominală ($\beta = 1$) iar $Q_d = (1-\alpha)\beta^2 Q_n$ este puterea reactivă de dispersie. Având în vedere definiția factorului de putere în regim sinusoidal, rezultă: $\cos\varphi = \dfrac{P}{S} = \dfrac{\beta}{\sqrt{\beta^2 + \left[\alpha + (1-\alpha)\beta^2\right]^2\left(\dfrac{1}{\cos^2\varphi_n} - 1\right)}}$.

În Figura 9 este arătată variația factorului de putere în funcție de încărcarea motorului la diverse valori ale factorului de putere nominal. Pentru valori ale încărcării mai mici de 0.5, reducerea factorului de putere sub valoarea nominală este deosebit de accentuată. Dacă în exploatare, tensiunea de alimentare a motoarelor asincrone creşte, rezultă o creştere a puterii reactive absorbite, cu consecințe nefavorabile asupra factorului de putere. Acest fapt este datorat creşterii curentului electric de magnetizare la funcționarea pe curba de magnetizare în zona saturată a acestea.

Deoarece motorul asincron trifazat este principalul motor de acționare utilizat în instalațiile industriale rezultă că la funcționarea în gol sau sarcină mică a acestor motoare consumatorii industriali ar avea un factor de putere mic, deci un consum mare de energie reactivă. Cum furnizorul de energie impune un consum sub un factor de putere apropiat de unitate (pentru micşorarea curenților de linie absorbiți, deci micşorarea pierderilor de putere

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

şi a căderilor de tensiune în rețeaua amonte) utilizatorul este obligat să compenseze factorul de putere, adică să producă energie reactivă cu ajutorul bateriilor de condensatoare sau al compensatoarelor sincrone.

4.5 Serviciul de calculul a parametrilor de funcţionare pentru un grup de motoare asincrone alimentate din acelaşi tablou al unei instalaţii electrice de joasă tensiune

În multe cazuri, datorită limitării posibilităților de măsurare sau a numărului mare de motoare existente într-o anumită instalație, este practic foarte dificilă tratarea individuală a acestora. În aceste condiții, se consideră ansamblul motoarelor în funcțiune ca un *motor echivalent* pentru care se utilizează o procedura simplificată de calcul a parametrilor de funcționare [Pot89].

Astfel, pentru un grup de N motoare alimentate dintr-o bară comună, la care se cunosc: puterile nominale P_{ni}, randamentele η_i şi factorii de putere nominali $\cos\varphi_{ni}$, precum şi puterea (electrică) totală P absorbită de grupul de motoare se calculează: puterea nominală a motorului echivalent: $P_{ne} = \sum_{i=1}^{N} P_{ni}$, randamentul nominal al motorului echivalent: $\eta_{ne} = \frac{1}{P_{ne}} \sum_{i=1}^{N} P_{ni}\eta_{ni}$, factorul de putere nominal al motorului echivalent: $\cos\varphi_{ne} = \frac{1}{P_{ne}} \sum_{i=1}^{N} P_{ni}\cos\varphi_{ni}$ şi gradul de încărcare al motorului echivalent: $\beta_e = \frac{P}{P_{ne}}$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

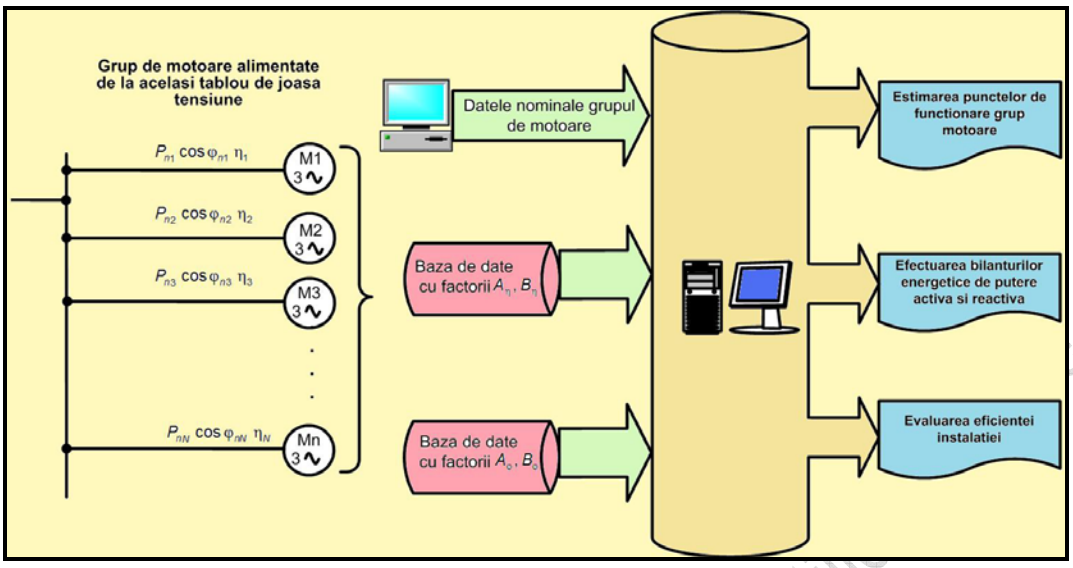


Figura 10. Determinarea automatizată parametrilor de funcționare pentru un grup de motoare asincrone.

Randamentul şi factorul de putere de regim pentru motorul echivalent se calculează cu relațiile [Pot89]: $\eta_e = \dfrac{\beta_e - A_\eta}{B_\eta \cdot \beta_e}$ respectiv $\cos\varphi_e = \dfrac{\beta_e}{A_\varphi + B_\varphi \beta_e}$, în care factorii A_η, B_η, A_φ şi B_φ depind de valoarea randamentului η_{ne}, respectiv de cea a factorului de putere echivalent al grupului de motoare $\cos\varphi_{ne}$. Valorile medii ale acestor factori sunt bazate pe prelucrări statistice şi indicate în diverse materiale documentare furnizate de producătorii de motoare electrice sau se pot determina prin calcule [Pot89].

Pierderile de putere în grupul de motoare se poate evalua cu relația $\Delta P_e = (1-\eta_e)\cdot P$ iar puterea reactivă consumată de motoare $Q_e = P \tan\varphi_e$.

În practică, metoda se dovedeşte destul de precisă şi permite determinarea completă a parametrilor energetici ai motorului echivalent, corespunzător grupului de motoare analizat. Figura 10 se prezintă modul automat de determinare a parametrilor de funcționare pentru un grup de motoare alimentate de la acelaşi tablou de joasă tensiune.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor

5. Transformatorul electric de distribuţie utilizat în instalaţiile electrice

Transformatoarele electrice de distribuție reprezintă elementul principal al unei stații electrice sau a unui post de transformare care are ca scop alimentarea instalațiilor electrice de joasă tensiune la consumator. Acestea modifică parametrii energiei electrice coborând tensiunea în secundar la valori standardizate (uzual 0.4 kV) corespunzătoare alimentării unei game foarte vaste de utilaje şi echipamente electrice (mono sau trifazate).

Transformatoarele de distribuție din instalații sunt construite ca unități trifazate, pe un unic circuit magnetic şi cu un sistem trifazat de înfăşurări de înaltă (medie) tensiune, respectiv un sistem trifazat de înfăşurări (cu conductor neutru accesibil) de joasă tensiune.

5.1 Caracteristicile transformatoarelor electrice de distribuţie

Regimul de funcționare pentru care este proiectat transformatorul şi în care nu se depăşesc limitele admisibile de încălzire ale elementelor sale, în condiții normale de lucru, se numeşte ***regim nominal de funcționare***. El este caracterizat prin mărimile nominale, înscrise pe plăcuța indicatoare a transformatorului sau furnizate de producător:

Puterea nominală S_n,, exprimată cel mai adesea în kVA, definită ca puterea aparentă la bornele circuitului secundar, în regim nominal. Deoarece transformatorul este utilizat în vederea transferării puterii de curent alternativ, această putere poate fi activă, reactivă sau mixtă, în funcție de tipul consumatorului. Acesta este motivul pentru care puterea nominal este o putere aparentă şi nu activă.

Tensiunea nominală primară U_{1n} este valoarea efectivă a tensiunii aplicată la bornele primare în regim nominal de funcționare.

Curenții nominali din primar şi secundar I_{1n} şi I_{2n} sunt valorile efective ce străbat înfăşurările transformatorului în regim nominal de

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

funcționare. Atât tensiunile cât şi curenții care intervin în parametrii nominali sunt mărimi de linie.

Frecvența nominală este frecvența formei de undă a tensiunii primare.

Raportul de nominal transformare *k* reprezintă raportul dintre tensiunea secundară U_{2n} şi tensiunea primară U_{1n}, atunci când secundarul este în gol, iar primarul este alimentat cu tensiune nominală: $k = U_{20}/U_{1n} \cong U_{2n}/U_{1n} \cong I_{2n}/I_{1n} \cong N_2/N_1$

Tensiunea de scurtcircuit U_{sc}**,** care reprezintă tensiunea ce trebuie aplicată primarului pentru ca înfăşurările acestuia să fie parcurse de curentul nominal I_{1n}, atunci când secundarul este scurtcircuitat. Tensiunea de scurtcircuit se exprimă în procente din tensiunea nominală $u_{sc}[\%] = (U_{sc}/U_{1n}) \cdot 100$.

Curentul de mers în gol I_0 este curentul care este absorbit de înfăşurarea primară când secundarul este deschis (în gol I_2 =0). Curentul demers în gol se exprimă în procente din curentul nominal: $i_0[\%] = (I_0/I_{1n}) \cdot 100$.

Pierderile de mers în gol P_0 reprezintă puterea activă absorbită de un transformator atunci când acesta este alimentat în primar cu tensiunea U_{1n} iar secundarul este în gol**.**

Pierderile în scurtcircuit P_{sc} reprezintă puterea activă absorbită de transformator atunci când primarul este alimentat la tensiunea de scurtcircuit U_{sc}, iar secundarul este scurtcircuitat.

Modul şi grupa de conexiuni a înfăşurărilor – indică felul în care sunt conectate înfăşurările primare şi secundare (triunghi- D sau stea y) urmate de un număr cuprins între 0 şi 12 corespunzător raportului între unghiul format de fazorii similari din primarul şi din secundarul transformatorului – maxim 360° – şi unghiul de 30°).

De cele mai multe ori, mai ales la transformatoarele moderne de producție mai recentă, este indicată şi o ***durată admisibilă a suprasarcinii*** uzual între 4 minute şi câteva ore în care se pot depăşi cu

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

câteva procente (maxim 20 %) valorile nominale ale transformatoarelor fără ca acesta să fie afectat din punct de vedere termic, electrodinamic mecanic etc. Acest parametru devine în instalațiile actuale (unde se întâlnesc frecvent suprasarcini) un indicator notabil în selecția transformatoarelor de aceeaşi putere unitară.

Din punct de vedere al tehnologiei de realizare pentru transformatoarelor folosite în instalații electrice distingem transformatoare în ulei (mai ales la puteri mari şi foarte mari) şi transformatoare uscate (cu răcire naturală). Transformatoarele în ulei pot fi cu conservator de ulei (care necesită mentenanță-controlul nivelului în cuva) şi mai nou transformatoare complet imersate în ulei (fără mentenanță) Gama de puteri nominale uzuale este cuprinsă în treptele: 100, 160, 250, 400, 800, 1000 şi 1600 kVA având cel mai adesea modul de conexiuni al înfăşurărilor $Dy_0 5$ (pentru a avea neutrul accesibil). Dacă consumatorul o impune, pentru a acoperi necesarul de putere cerută, se folosesc mai multe unități (cu caracteristici tehnice identice) legate în paralel.

5.2 Serviciul de evaluare a parametrilor schemei de circuit echivalentă pentru transformatorul de distribuţie utilizat în instalaţiile electrice

Determinarea unor mărimi caracteristice în funcționarea instalației electrice (curenți de scurtcircuit, curenți de defect, căderi de tensiune) necesită cunoașterea parametrilor (pe fază) de circuit ai transformatorului văzut ca un cuadripol de cele mai multe ori în schemă Gamma ***Γ*** [Fiz02, Mor10]. Această schemă este compusă din parametrii de impedanță (longitudinali) care au o ponderea cea mai semnificativă şi parametrii de admitanță (transversali). Toți parametrii se pot uşor determina pornind de la datele nominale ale transformatorului.

Parametrii longitudinali ai transformatorului: impedanța echivalentă $Z_T = \frac{u_{sc}}{100}\frac{U_{n1}^2}{S_n}$, rezistența echivalentă $R_T = P_{sc}\frac{U_{1n}^2}{S_n^2}$ şi reactanța: $X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \cong Z_T$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Parametrii transversali sunt dați de relațiile: admitanța echivalentă: $Y_T = \frac{i_0}{100}\frac{S_n}{U_{1n}^2}$, conductanța echivalentă $G_T = \frac{P_0}{U_{1n}^2}$ şi susceptanța: $B_T = \sqrt{Y_T^2 - G_T^2} \cong Y_T$.

În Figura 11 este sintetic prezentat procesul automat de evaluare a parametrilor de circuit pentru transformatoarele de distribuție.

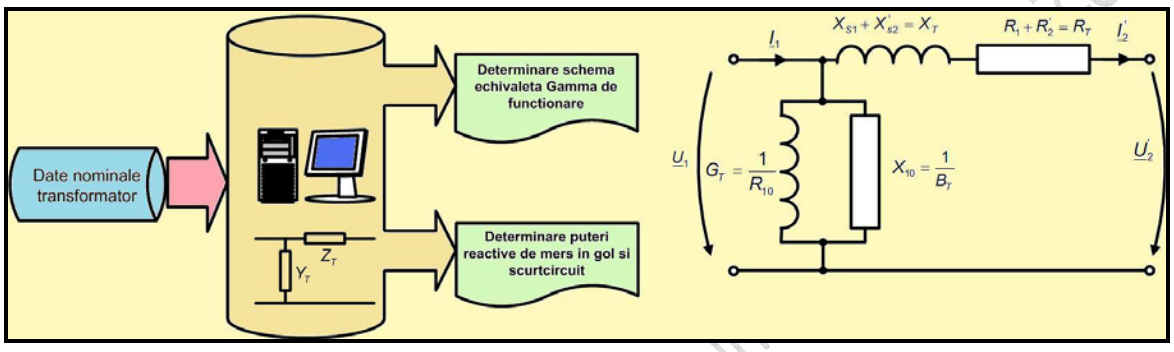


Figura 11. Determinarea automatizată a parametrilor de circuit ai schemei Gamma şi a puterilor reactive în gol şi scurtcircuit pentru un transformator de distribuție.

Odată determinați parametrii longitudinali şi transversali (schema în Gamma) se poate elabora cu uşurință şi schema în echivalentă în T a transformatorului (care ia în considerare elementele de circuit ale fiecărei înfăşurări) – Figura 12. Pentru aceasta se consideră următoarele egalități, care sunt satisfăcute în mod uzual cu suficiență precizie [Gur00]: $R_1 = R'_2 = R_T/2$, respectiv $X_{s1} = X'_{s2} = X_T/2$. Trebuie menționat că toți parametrii schemei echivalente de circuit ai transformatorului pot fi obținuți şi pe cale experimentală dacă se cunosc numai puterea S_n şi tensiunile nominale U_{1n} şi U_{2n}.

În schema echivalentă în ***T*** notațiile au semnificația [Gav94, Mor10]:

- $\underline{U}_1$, $\underline{I}_1$ şi $\underline{U}_2$, $\underline{I}_2$ – valorile complexe ale tensiunii şi curentului la bornele primarului şi secundarului,
- R_1, X_{s1} şi R_2, X_{s2} – rezistența respectiv reactanța de scăpări ale înfăşurării primare şi secundare iar $R'_2 = k^2 R_2$, $X'_{s2} = k^2 X_{s2}$ - rezistența respectiv reactanța de scăpări din secundar raportate la primar,

- $R_{10} = R_{Fe}$ – rezistența corespunzătoare pierderilor prin histerezis şi curenți turbionari în miezul de fier,
- $X_{10} = X_m = X_{u1} = \omega L_{u1}$ – reactanța utilă a primarului, egală cu reactanța utilă a secundarului raportată la primar, $X_{u1} = X'_{u2} = k^2 X_{u2} = k^2 \cdot \omega L_{u2}$,
- $\underline{U}'_2 = k \cdot U_2$, $\underline{I}'_2 = I_2 / k$ - valorile complexe ale tensiunii şi curentului la bornele secundarului raportate la primar
- $\underline{I}_{10}$ – valoarea complexă a curentului de mers în gol a transformatorului ($I_2 = 0$),
- $\underline{U}_{10}$ – valoarea complexă a tensiunii, corespunzătoare tensiunii electromotoare induse în primar

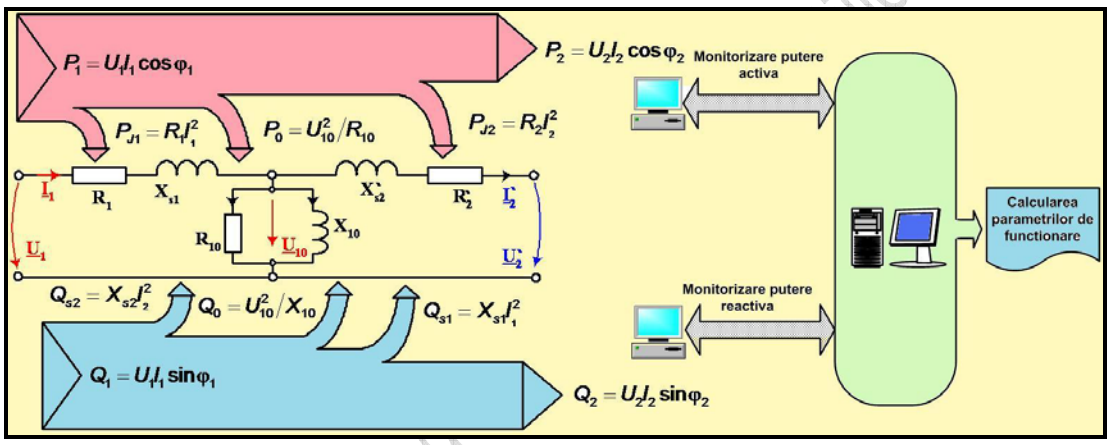


Figura 12. Schema echivalentă în T a transformatorului împreună cu localizării pierderilor de putere activă şi reactivă şi calculul automat al parametrilor de funcționare

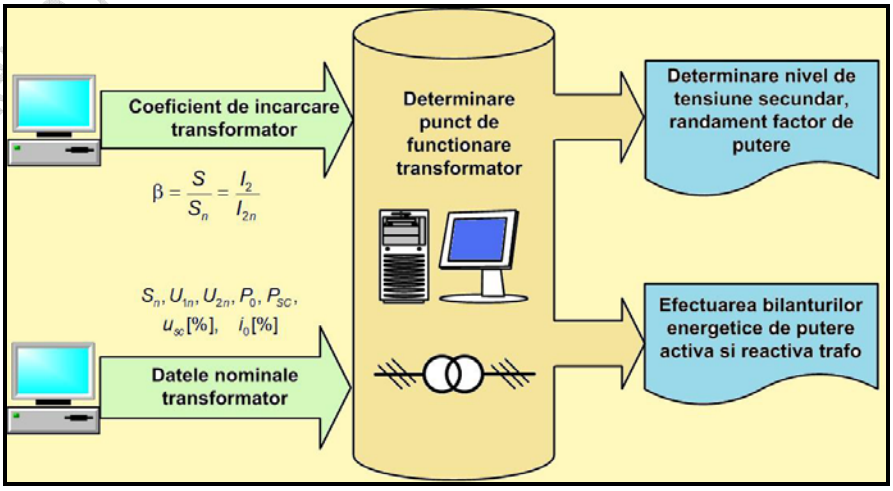
5.3 Serviciul de evaluare a bilanțul energetic al transformatorului – caracteristica randamentului transformatorului de distribuție

Circulația (transferul) de putere prin transformator determină pierderi de putere activă ΔP şi de putere reactivă ΔQ. Acestea pot fi împărțite în pierderi independente de sarcina transformatorului (date de performanțele sale tehnologice intrinseci): ΔP_o şi ΔQ_o şi pierderi care depind de sarcina acestuia: ΔP_s şi ΔQ_s. Pierderile totale de putere pot fi evaluate cu relațiile: $\Delta P = \Delta P_o + \Delta P_s$ respectiv $\Delta Q = \Delta Q_o + \Delta Q_s$.

Pierderile constante de putere ΔP_o şi ΔQ_o se determină pe baza parametrilor tehnici ai transformatorului. Astfel, pierderile $\Delta P_o = P_0$

reprezintă dată de catalog a transformatorului, iar pierderile ΔQ_o se calculează cu relația: $\Delta Q_0 = Q_0 = \sqrt{\left(\frac{i_0}{100}S_n\right)^2 - P_0^2} \cong \frac{i_0}{100}S_n$. Deoarece în cataloagele transformatoarelor sunt indicate pierderile în scurtcircuit pentru sarcina nominală a transformatorului, rezultă că valoarea pierderilor active şi reactive, la o ***încărcare*** oarecare, definită prin coeficientul $\beta = S/S_n \cong I/I_n$, numit şi ***factor de încărcare***, se poate determina cu relațiile: $\Delta P_s = P_{sc}(I/I_n)^2 = \beta^2 P_{sc}$ respectiv $\Delta Q_s = Q_{sc}(I/I_n)^2 = \beta^2 Q_{sc}$, unde puterea reactivă de scurtcircuit se determină folosind expresia: $\Delta Q_{sc} = Q_{sc} = \sqrt{\left(\frac{u_{sc}}{100}S_n\right)^2 - P_{sc}^2} \cong \frac{u_{sc}}{100}S_n$. Prin urmare pierderile de putere (active şi reactive) la funcționare în sarcină vor fi: date de expresiile: $\Delta P = P_o + \beta^2 P_{sc}$ respectiv: $\Delta Q = Q_o + \beta^2 Q_{sc}$. Dacă, datorită necesarului de ridicat de putere, se folosesc mai multe (m) transformatoare identice în paralel, pierderile de putere în stația de transformare astfel realizată vor fi: $\Delta P = mP_o + \beta^2 P_{sc}/m$ şi $\Delta Q = mQ_o + \beta^2 Q_{sc}/m$. Trebuie precizat că în acest caz se pot determina nivele limită de încărcare a stației pentru care se trece de la funcționarea cu m la $m + 1$ transformatoare astfel încât pierderile să fie minime [Wil05].

Bilanțul energetic al transformatorului se poate realiza în timp real monitorizând încărcarea acestuia evaluând astfel o parte din procentul de pierderi tehnologice datorate distribuției în instalație –Figura 13.



Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Figura 13. Realizarea automată a bilanțului de puteri active şi reactive pentru transformator.

Caracteristica randamentului transformatorului este prin definiție curba de variație a randamentului în funcție de puterea activă cedată la bornele secundarului, în condițiile unei tensiuni nominale în primar şi a unui factor de putere constant al impedanței de sarcină din secundar. Prin urmare aceasta exprimă dependență $\eta = \eta(P_2)$ sau $\eta = \eta(\beta)$ la $U_1 = U_{1n}$ şi $\cos\varphi_2 = \text{const.}$ Expresia randamentului unui transformator este $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$ în care, utilizând coeficientul de încărcare β, avem: $P_2 = S_2 \cos\varphi_2 = \beta S_n \cos\varphi_2$ puterea activă utilizată în secundar iar $\Delta P = P_o + \beta^2 P_{sc}$ reprezintă pierderea totală de putere activă a transformatorului. Prin urmare expresia randamentului devine: $\eta(\beta) = \frac{\beta S_n \cos\varphi_2}{\beta S_n \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{sc}}$.

Pentru a determina valoarea încărcării pentru care randamentul este maxim se rezolvă ecuația: $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$ obținându-se $\beta_0 = \sqrt{\frac{P_0}{P_{sc}}}$ (valoare care nu depinde de factorul de putere al sarcinii) şi un randament maxim dat de expresia: $\eta_m = \frac{S_n \cos\varphi_2}{S_n \cos\varphi_2 + 2\sqrt{P_0 P_{sc}}}$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

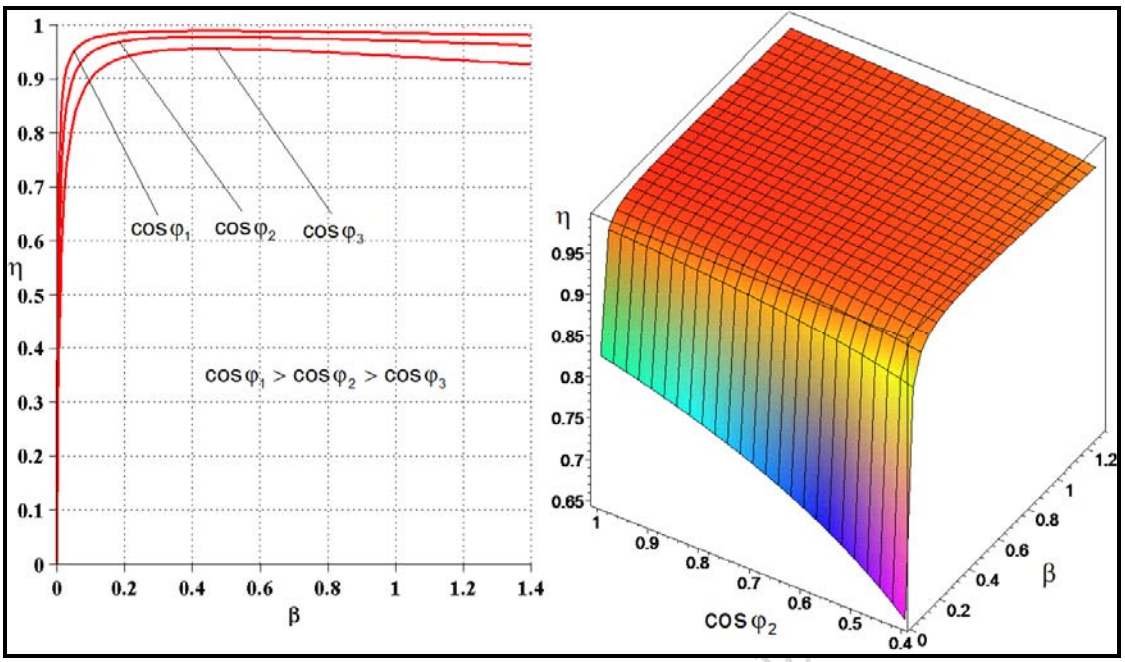


Figura 14. Variația randamentului transformator funcție de încărcare şi factorul de putere al sarcinii .

Figura 14 ilustrează variația randamentului funcție de încărcare şi factorul de putere din secundarul acestuia (natura sarcinii). Având în vedere acest mod de variație merită menționate câteva observații:

- la sarcini mici randamentul transformatoarelor este redus, de unde rezultă că nu se recomandă funcționarea transformatoarelor în acest regim, ci dacă este cazul înlocuirea transformatorului în lucru a cu unul de putere mai mică (adaptată sarcinii);

- randamentul maxim se obține pentru un regim de funcționare apropiat de cel nominal. Prin proiectare şi construcție se urmăreşte obținerea randamentului maxim pentru sarcinile folosite uzual care corespunde unui β_0 = (0,7 ÷ 0,9) deci P_0 = (0,5 ÷ 0,8) P_{sc}. Alegerea factorului de încărcare β_0 prin proiectare depinde de tipul de transformator şi locul lui de funcționare în instalația electrică;

- randamentul în sarcină inductivă este cu atât mai mic cu cât factorul de putere este mai mic; rezultă astfel că este de preferat compensarea factorului de putere al receptorului pentru creşterea randamentului transformatoarelor de alimentare;

- randamentul nominal al transformatoarelor (în sarcină rezistivă) are

valori foarte mari, cu atât mai mari cu cât puterea nominală a acestora este mai mare. La puteri uzuale de ordinul sutelor de kVA randamentele nominale sunt $\eta_n = (0{,}95 \div 0{,}97)$, iar la puteri de ordinul MVA se obțin chiar randamente nominale $\eta_n > 0{,}99$.

5.4 Serviciul de predeterminare a caracteristicii externe pentru transformatorul electric din instalaţiile electrice de distribuţie

În instalațiile electrice de joasă tensiune este foarte important ca valoarea tensiunii de alimentare a receptoarelor să aibă o valoare practic constantă (cu o foarte îngustă plaje de variație). Această cerință, impusă de numeroase receptoare foarte sensibile la modificarea tensiunii (corpuri de iluminat, tehnică de calcul etc.), se poate realiza în primul rând prin controlul riguros tensiunii secundare a transformatorului de distribuție.

Este astfel necesară analiza a caracteristicii externe a transformatorului, care reprezintă curba de variație a tensiunii la bornele secundarului în funcție de curentul prin secundar (încărcarea transformatorului), în condițiile unei tensiuni nominale în primar şi a unui factor de putere constant al impedanței de sarcină din secundar: $U_2 = U_2(I_2)$ *sau* $U_2 = U_2(\beta)$ *la* $U_1 = U_{1n}$ *şi* $\cos\varphi_2 = const.$

Folosind modelul de circuit al transformatorului cu schema în Gamma în care se neglijată parametrii transversali (aproximație ce nu afectează foarte mult precizia calculelor) se obține următoarea relație pentru variația tensiunii în secundar funcție de încărcare [Mor10]: $\Delta U_2 = \frac{1}{k}\frac{I_2'}{I_{2n}'}(R_T I_{1n}\cos\varphi_2 + X_T I_{1n}\sin\varphi_2) = \frac{1}{k}\beta(U_{1sca}\cos\varphi_2 + U_{1scr}\sin\varphi_2)$. Deoarece $k = \frac{U_{1n}}{U_{20}}$ şi utilizând notațiile: $u_{sca} = \frac{U_{1sca}}{U_{1n}} = \frac{P_{sc}}{S_n}$ şi $u_{scr} = \frac{U_{1scr}}{U_{1n}} = \sqrt{u_{sc}^2 - u_{sca}^2}$ pentru valorile relative ale căderilor de tensiune activă respectiv reactivă de scurtcircuit, expresia pierderii de tensiune în secundar devine: $\Delta U_2 = \beta U_{20}(u_{sca}\cos\varphi_2 + u_{scr}\sin\varphi_2)$.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Caracteristica externă funcție de coeficientul de încărcarea al transformatorului va fi dată de expresia: $U_2(\beta) = U_{20} - \Delta U_2 = U_2 = U_{20}[1-\beta(u_{sca}\cos\varphi_2 + u_{scr}\sin\varphi_2)]$.

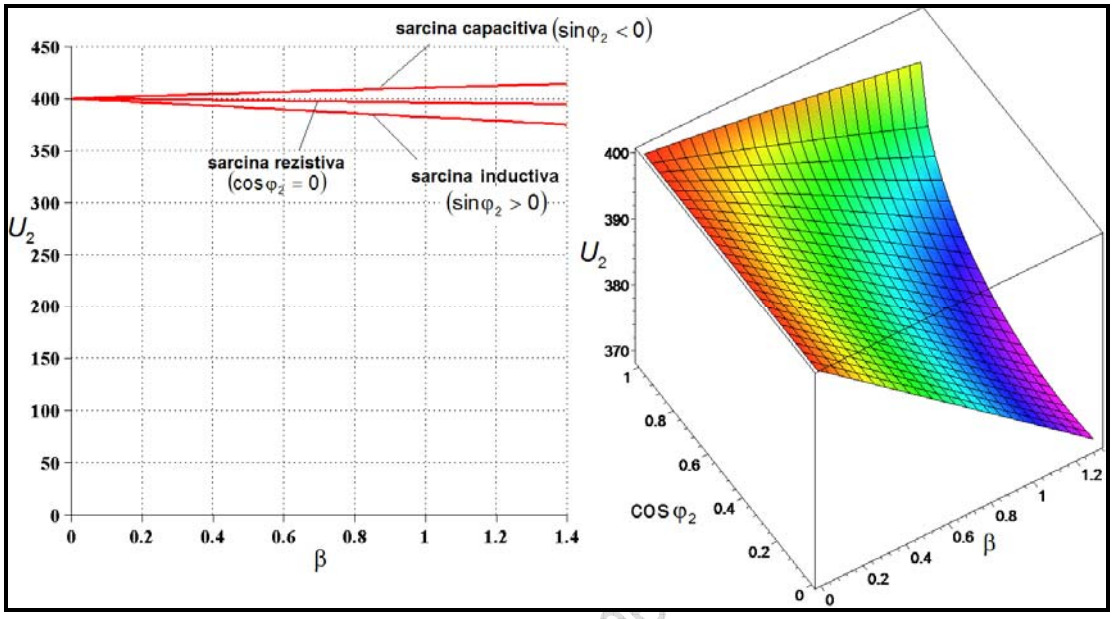


Figura 15. Variația tensiunii in secundarul transformatorului funcție de încărcarea acestuia de factorul de putere din secundar.

Variația tensiunii in secundarul transformatorului funcție de încărcarea acestuia dar şi de factorul de putere al sarcinii este prezentată in Figura 15. Analiza variației tensiunii în secundar permite următoarele observații:

- Dacă $\varphi_2 = 0$, deci sarcina este rezistivă $\cos\varphi_2 = 1$ şi $\sin\varphi_2 = 0$ caracteristica externă este uşor căzătoare. Dacă $\varphi_2 > 0$, deci sarcina este inductivă $\cos\varphi_2 < 1$ şi $\sin\varphi_2 > 0$ caracteristica externă este mai puternic căzătoare. Dacă $\varphi_2 < 0$, deci sarcina este capacitivă $\cos\varphi_2 < 1$ şi $\sin\varphi_2 < 0$ astfel încât caracteristica externă este uşor crescătoare. Rezultă că varianta optimă pentru consumul de energie electrică este pentru sarcina rezistivă sau uşor inductivă la care căderile de tensiune sunt mai mici. În cazul sarcinii inductive la factor de putere scăzut, se impune compensarea factorului de putere care conduce atât la scăderea valorii efective a curentului absorbit cât şi la scăderea căderii de tensiune pe transformator.

Sisteme informatice de gestiune

- La sarcină capacitivă creşterea tensiunii la bornele secundarului transformatorului peste valoarea nominală poate conduce la avarierea unor receptoare sensibile la variația pozitivă de tensiune. Această situație poate apărea la folosirea treptelor fixe ale bateriilor de compensare destinate corecției centralizate a factorului de putere din secundarul transformatorului (supracompensarea factorului de putere).

6. Serviciul de identificare a unor măsuri generale privind funcţionarea optimă a consumatorilor industriali şi minimizare a pierderilor de energie în instalaţii

Utilizarea eficientă a energiei electrice în instalațiile electrice industriale de joasă tensiune impune cunoaşterea în amănunt a comportării atât a rețelei de distribuție (de la transformator până la ultimul receptor) cât şi a consumatorilor astfel încât întreg ansamblul să prezinte un randament ridicat de exploatare. Prin urmare, interacțiunea dintre principale elementele ale rețelei de distribuției în joasă tensiune (transformatoarele electrice de putere) şi principalii consumatori industriali (motoarele electrice asincrone) trebuie să fie una optimă din punct de vedere al funcționalității, pierderilor de energie, mentenanței predictive şi nu în ultimul rând al siguranței în exploatare.

În cele ce urmează se vor menționa numai câteva măsuri ce pot fi aplicate în vederea realizării dezideratelor tehnice menționate mai sus:

A) Îmbunătățirea randamentului energetic al distribuție a energiei electrice prin:

- *Micşorarea pierderilor tehnologice de distribuție, realizată prin dimensionarea* optimă a cablurilor de joasă tensiune, lucru ce are ca efect micşorarea atât a consumului de energie pe conductoare cât şi a căderilor de tensiune;
- *Îmbunătățirea factorului de putere.* Multe din utilajele consumatoare de energie electrică în curent alternativ sinusoidal (motoare asincrone, transformatoare, cuptoare etc.) au un factor de putere subunitar,

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

consumând pe lângă putere activă şi putere reactivă. Prin ridicarea factorului de putere *PF = P/S* este posibil transportul unei puteri active mai mari cu aceeaşi valoare efectivă a curentului. În consecință, un consumator cu factorul de putere compensat unitar, va determina pierderi pe linia de transport de joasă tensiune mai mici decât un consumator necompensat de aceeaşi putere activă. Compensarea factorului de putere reduce consumul de putere reactivă şi determină şi micşorarea căderii de tensiune pe linia de transport, datorită micşorării curentului. Pentru a îmbunătăți factorul de putere, este necesar să se evite vehicularea puterii reactive de la surse la consumatori. În acest sens, se montează în aproprierea consumatorilor generatoare de putere reactivă, ca de exemplu: baterii de condensatoare, maşini sincrone supraexcitate care funcționează în regim de compensator sincron.

- *Deconectarea transformatoarelor care funcționează în gol* ce au un consum mare de energie reactivă şi un randament foarte mic in acest regim.
- *Aplatizarea caracteristicilor de sarcină ale consumatorilor* prin micşorarea consumului în orele de vârf. Se evită in acest fel solicitările extreme ale rețelei pe perioada sarcinilor maxime (vârfurilor de sarcină).

B) Micşorarea consumurilor energetice *prin:*

- *Conectarea limitatoarelor de mers în gol* al utilajelor. Aceste aparate deconectează automat acele utilaje al căror curent scade în apropierea valoarea curentului de mers în gol şi se menține un anumit timp la acest nivel.
- *Utilizarea iluminatului local şi reducerea iluminatului general.*
- *Alegerea optimă a motoarelor*, astfel încât acestea să funcționeze cât mai aproape de puterea nominală. A fost prezentat faptul că la încărcări mici față de cea nominală, randamentul motoarelor electrice scade considerabil.
- *Monitorizarea calității energiei electrice* din secundarul transformatoarelor de distribuție. Aceasta presupune o cunoaştere cat mai exactă celor mai importanți parametrii privind calitatea energiei electrice absorbite de consumator: nivelului de distorsiune armonică a curbelor de curent şi tensiune, nivelul de nesimetrii, etc.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

C) <u>Folosirea utilajelor şi tehnologiilor moderne, de mare randament energetic.</u>

- *Utilizarea de maşini electrice cu performanțe ridicate*, cu pierderi în fier şi cupru reduse. Se pot folosi astfel motoare de înaltă eficiență energetică (cu randamente nominale de până la 95 %) şi transformatoare uscate sau imersate complet cu capacitate mare de preluarea a suprasarcinii şi capabile de a prelua sarcini puternic nesimetrice şi distorsionate (K-rated transformers).
- *Utilizarea iluminatului cu leduri în locul celui fluorescent sau cu incandescență*;
- *Utilizarea reglajelor economice* de viteză la motoarele electrice, în special a reglajelor regimului de funcționare cu convertizoarele statice de putere, care adaptează consumul motorului funcție de sarcina acestuia.
- *Utilizarea unor tehnologii moderne*, cu consum energetic redus (tehnologiile depăşite bazate pe cuțit de strung sau freză se pot înlocui cu tehnologi bazate pe fascicul de electroni sau laser, electroeroziune etc.).

În concluzie, este necesară ***efectuarea periodică***, pentru toți consumatorii industriali (şi nu numai) a ***<u>bilanțurilor electro-energetice</u>***, care să evidențieze modul în care este utilizată energia electrică şi măsurile tehnice optime care trebuie luate pentru reducerea consumurilor energetice [Gol08]. Mai mult, chiar legislația actuală [Ord02], obligă societățile comerciale cu un consum anual mai mare de 2.3 GWh (echivalentul a 200 t.e.p - tone echivalent petrol), la efectuarea periodică a bilanțurilor energetice.

Acestea permit efectuarea, atât a analizelor cantitative, cât şi a celor calitative, asupra modului de utilizare a energiei electrice în cadrul unui contur, reprezentând practic suprafața închisă care include limitele față de care se consideră intrările şi ieşirile de energie electrică. Conturul de bilanț poate coincide cu conturul fizic al unui utilaj, al unei instalații sau al unui ansamblu complex.

În fapt, realizarea bilanțurilor electroenergetice presupune elaborarea atât ***bilanțul real*** cât şi ***bilanțul optimizat.*** ***<u>Bilanțul real</u>*** se referă la

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

situația în care se găseşte, la un moment dat, un echipament (instalație), punând în evidență abaterile valorilor parametrilor reali de la valorile de referință (primite de la producător) şi stabilite în bilanțul de recepție, cauzele şi soluționarea acestora. Abaterile rezultate reprezintă fie erori de întreținere şi exploatare, fie uzură. Bilanțul real se elaborează operând cu cantități de putere (energie) măsurate, completate cu valori calculate analitic. Bilanțul real constituie baza pentru evaluarea potențialului de economisire a energiei electrice. ***Bilanțul optimizat*** se elaborează de fiecare dată când se elaborează şi bilanțul real şi ia în considerare efectul implementării măsurilor de creştere a eficienței identificate prin analiza bilanțului real.

Trebuie specificat că efectuarea şi analiza şi bilanțurilor electro-energetice trebuie efectuată, conform legislației în vigoare [Ord08], numai de către *persoane calificate şi atestate periodic în acest sens* numite *auditori electroenergetici*.

Bibliografie

[Com83] Comşa D., Dinculescu P., Şora I. 1983, Utilizări ale energiei electrice şi instalații electrice, Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti.

[Ema04] Emadi A. 2004, Energy-Efficient Electric Motors, CRC Press; 3rd Edition

[Fitz02] Fitzgerald A. E, Kingsley C., Umans S. 2002, Electric Machinery, McGraw-Hill, 6th Edition.

[Gav94] Gavrilă H. 1994 Electrotehnică şi echipamente electrice, vol. 1+2, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti.

[Gol08] Golovanov N. s. a. 2008, Instalații Electroenergetice şi Elemente de Audit Industrial, Editura N'ERGO, Bucureşti.

[Gol10] Golovanov, N. şi alții. 2010. Consumatori de energie electrică. Materiale, Măsurări, Aparate, Instalații, Editura AGIR.

[Gur00] Guru B. S., Huseyin R.H. 2000, Electric Machinery and Transformers, Oxford University Press, 3rd Edition.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

[Ken97] Kennedy B.W. 1997, Energy Efficient Transformers, McGraw-Hill Professional, 1st Edition.

[Mor10] Moraru A. 2010 Maşini electrice. Teorie, încercări şi exploatare, Editura AGIR, Bucureşti.

[Nor02] Normativ pentru proiectarea şi executarea instalațiilor electrice cu tensiunii până la 1000 v c.a. şi 1500 V c.c. Indicativ: I 7-02.

[Ord08] Ordonanța nr. 22/2008 privind utilizarea eficientă a energiei şi promovarea utilizării la consumatorii finali a surselor regenerabile de energie + Norme de aplicare, publicată în Monitorul Oficial, Partea I nr. 628 din 29/08/2008.

[Pot89] Potlog D. M., Mihăileanu C. 1989, Acționări electrice industriale cu motoare asincrone. Aplicații industriale, Editura tehnică, Bucureşti.

[Saa81] Saal C., Szabo W. 1981, Sisteme de acționare electrică. Determinarea parametrilor de funcționare, Editura Tehnică, Bucureşti.

[Wil05] Wildi T. 2005, Electrical Machines, Drives and Power Systems, Prentice Hall, 6th Edition.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Capitol nr. 5

Serviciul de management (gestiune) a consumului de putere reactivă în rețelele electrice. Sisteme de corecţie automată a factorului de putere

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

1. **Subiect:** În capitolul de față sunt prezentate aspectele calitative şi cantitative privind cauza şi efectele circulației de putere reactivă în instalațiile electrice de joasă tensiune. Sunt de asemenea abordate principalele mijloace utilizate de serviciul de îmbunătățire automată a factorului de putere în diverse regimuri de funcționare a instalației, corelate cu elemente de dimensionare a echipamentului aferent.

2. **Obiective:**

Capitolul de față are ca obiectiv asimilarea de către cursant a problemelor fundamentale privind serviciul de gestiune automatizată a consumului de putere reactivă în instalațiile electrice de joasă tensiune şi a unor metode de limitare a efectelor negative ale factorului redus de putere. Este elaborat în acest sens un serviciu de selecție al echipamentelor de corecție a factorului de putere bazat pe analiza calității energiei electrice la consumator. Sunt de asemenea expuse şi noțiuni de proiectare a unor sisteme simple de compensare a puterii reactive pe diverse nivele ale instalației.

3. Puteri circulate în instalaţia electrică, factorul de putere

În instalațiile electrice de curent alternativ, caracterizate, din punct de vedere electric, printr-o schemă cu elemente active şi elemente reactive, are loc, la modul cel mai general, un transfer de *putere activă P* de la sursă spre receptor, în corelare cu cerințele consumatorilor, precum şi un transfer de *putere reactivă Q* şi *putere deformantă D*.

O caracterizare energetică obiectivă a consumatorului se face prin intermediul *puterii aparente S*, care face legătura între cele puterile mai sus mentionate [Com03, Gol07].

În ultimul timp, datorită folosirii pe scară largă în toate instalațiile domestice şi industriale a electronicii de putere şi datorită numeroşilor receptori neliniari, practic nu se mai poate vorbi de receptoare pentru care formele de undă ale tensiunii şi mai ales a curentului absorbit sunt sinusoide pure. Prin urmare ponderea puterii deformante devine din ce in ce mai semnificativă. Astfel, se definesc: ***puterea aparentă, activă, reactivă şi deformantă*** [Goi11]. Pentru un consumator monofazat acestea devin:

$$S = UI = \sqrt{\sum_{k=0}^{n} U_k^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=0}^{n} I_k^2} \ , \ P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \cos\varphi_k \ , \ Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin\varphi_k \ , \ D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

în care *U*, *I*, reprezintă valoarea efectivă a tensiunii respectiv a curentului iar φ_k este defazajul dintre curbele tensiunii şi ale curentului electric, corespunzător armonicei de rang *k, cu k = 1 ÷ n*. Unitățile de măsură pentru cele patru tipuri de puteri sunt, în ordinea definiției acestora: VA, W, VAR şi VAD. Majoritatea aparatelor de măsură moderne destinate măsurării puterii şi energiei electrice pot măsura instantaneu fiecare din cele 4 puteri (energii) definite anterior.

Puterea reactivă a sarcinii totale a unui consumator de energie electrică are, de regulă, un caracter inductiv, curentul de sarcină fiind defazat în urma tensiunii; în acest caz, se consideră, convențional, că puterea reactivă este pozitivă ($Q_L > 0$) şi că receptoarele reprezintă *consumatori de putere reactivă*. Pentru alte receptoare, curentul absorbit este defazat înaintea tensiunii; receptoarele în cauză sunt considerate, convențional, *surse de*

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

putere reactivă, iar puterea corespunzătoare se ia în calcule cu semnul minus ($Q_C < 0$). Puterea reactivă totală este: $Q = Q_L - Q_C$.

În instalațiile electrice se defineşte ***factorul de putere*** (Power Factor-*PF*), ca raport între puterea activă *P* şi puterea aparentă totală *S:*

$$\lambda = PF = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} U_k \cdot I_k \cdot \cos\varphi_k}{U \cdot I}.$$

Similar, ***factorul de putere pe fundamentală*** (Dispalcement Power Factor-*DPF*) este definit ca raport între puterea activă P_1 şi puterea aparentă S_1, corespunzătoare armonicei fundamentale ($k = 1$)*:*

$$\lambda_1 = DPF = \frac{P_1}{S_1} = \frac{U_1 I_1 \cos\varphi_1}{U_1 I_1} = \cos\varphi_1.$$

Trebuie precizat că cele două definiții ale factorului de putere (*PF* şi *DPF*) conduc, în general, la valori diferite iar egalitatea $\lambda = \frac{P}{S} = \cos\varphi$ ($PF = DPF$) este valabilă numai într-un circuit monofazat şi numai într-un *regim pur sinusoidal* (caz ideal). Prin urmare interpretarea factorului de putere în funcție de defazarea curbei curentului electric față de curba tensiunii aplicate trebuie considerată cu prudență.

Pentru a caracteriza gradul de încărcare cu armonici superioare al formei de undă a tensiunii sau curentului absorbit de consumator se folosesc numeroşi indicatori, cel mai utilizat însă este ***distorsiunea armonică totală*** *THD* (Total Harmonic Distorsion) definit procentual ca raport între reziduul deformant al semnalului şi valoarea efectivă a armonicei fundamentale. Astfel pentru curent $THD_i = \frac{1}{I_1}\sqrt{\sum_{k=1}^{n} I_k^2} \cdot 100[\%]$, unde I_k reprezintă valoarea efectivă corespunzătoare armonicii k iar I_1 cea corespunzătoare armonicii fundamentale.

Folosind valoarea distorsiunii armonice totale a curentului, se poate uşor demonstra relația: $PF = \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1+THD_i^2}} = \frac{DPF}{\sqrt{1+THD_i^2}}$, valabilă în cazul în care

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

distorsiunea tensiunii este neglijabilă THD_u < 5 % (destul de frecvent în cazul instalațiilor de joasă tensiune). Astfel, dacă *DPF* = 0.92 dar THD_i = 30% valoarea factorului de putere este de numai *PF* = 0.88.

Relațiile anterioare definesc *factorul de putere instantaneu* ce corespunde unui anumit moment din funcționarea instalațiilor consumatorului. Deoarece sarcina electrică prezintă fluctuații, normele în vigoare recomandă determinarea *factorului de putere mediu ponderat* pe baza consumurilor de energie activă $W_a = \int_0^t P \cdot \mathrm{d}t$, reactivă $W_r = \int_0^t Q \cdot \mathrm{d}t$ şi deformantă $W_d = \int_0^t Q \cdot \mathrm{d}t$ dintr-o anumită perioadă t (lună, an): $PF_{med} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2 + W_d^2}}$. Acesta serveşte, uzual, la caracterizarea din punct de vedere energetic a instalației consumatorului şi la tarifarea energiei electrice consumate de acesta.

Factorul de putere mediu ponderat poate fi *natural* când se determină fără a considera instalațiile de compensare a puterii reactive, şi *general*, când la evaluarea sa se au în vedere şi puterile furnizate de aceste instalații. Valoarea factorului de putere mediu ponderat general de la care nu se mai tarifează consumul de energie reactivă se numeşte ***factor de putere neutral***. Această valoare este determinată din calcule tehnico-economice de minimizare a pierderilor de energie activă şi este o mărime locală ce depinde de poziția consumatorului în rețeaua electrică. La nivelul sistemului energetic național a fost stabilită valoarea de 0.92 [Gol07].

Monitorizarea factorului de putere prezintă un interes deosebit pentru producătorul, transportatorul, distribuitorul, furnizorul şi utilizatorul final de energie electrică, deoarece el influențează caracteristicile de performanță al tuturor acestor servicii, determină capacitatea disponibilității de transfer a energiei pentru echipamentele electroenergetice şi impune în final costurile de furnizare a energiei electrice [Bal81].

În instalațiile electrice din incinta consumatorului, ***serviciul de***

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

management (gestiune) a consumului de putere reactivă a receptoarelor urmăreşte mai multe aspecte: cauzele scăderii factorului de putere, efectele unui factor de putere redus, mijloace şi metode de ameliorare a factorului de putere, calculul tehnico-economic al amplasării surselor de putere reactivă şi alte aspecte specifice acestei activități.

Se subliniază faptul că acțiunea de ameliorare a factorului de putere trebuie întotdeauna corelată cu reducerea nivelului de încărcarea armonică a formelor de undă pentru curent şi tensiune la bornele consumatorului. În prezent există soluții tehnice eficiente pentru îmbunătățirea factorului de putere la valoarea dorită. Înainte de adoptarea deciziilor privind utilizarea soluțiilor tehnice este necesară analiza unor soluții tehnico-organizatorice, de cele mai multe ori mai simple şi mai puțin costisitoare față de soluțiile tehnice.

4. Cauzele circulaţiei de putere reactivă

Cauzele circulației de putere reactivă în instalația electrică se datorează a două mari categorii de elemente: consumatorii şi sursele de putere reactivă. Din prima categorie fac parte: motoarele asincrone, cuptoarele de inducție şi arc, transformatoarele de sudură, redresoarele comandate, lămpile electrice cu descărcare precum şi elementele de transport şi distribuție (transformatoare şi liniile electrice) [Din83]. Generatoarele de putere reactivă sunt constituite din motoarele sincrone supraexcitate şi bateriile de condensatoare şi liniile electrice în cablu.

4.1 Consumatori de putere reactivă

Principalii consumatori de putere reactivă sunt *motoarele asincrone* şi *transformatoarele electrice* cărora le revine circa 60 % respectiv 25 % din toată puterea reactivă a instalației datorându-se producerii câmpurilor magnetice alternative [Din83]. La nivelul consumatorilor industriali, ponderile sunt de circa 70 % pentru motoarele asincrone şi 20 % pentru transformatoare. Diferența dintre consumurile de putere reactivă la motoarele asincrone şi transformatoare, la aceeaşi putere activă şi aceeaşi

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

solicitare magnetică, provine din faptul că puterea reactivă de magnetizare, care constituie cea mai importantă componentă a puterii de reactive, depinde de volumul circuitului magnetic la care, în cazul motoarelor asincrone, se adaugă şi volumul întrefierului (inexistent la transformatoare). O altă componentă a puterii reactive a motoarelor asincrone şi transformatoarelor este puterea reactivă dependentă de sarcină, numită şi putere reactivă de dispersie.

A) În cazul ***motoarelor asincrone***, puterea reactivă de magnetizare (sau puterea de mers în gol) constituie cea mai mare parte din puterea reactivă a motorului, în funcție de întrefierul şi încărcarea maşinii. Având în vedere încărcarea medie în exploatare: $\beta < 0.5$ (evaluată prin factorul de încărcare raportul dintre puterea mecanică la ax P şi puterea mecanică nominală P_n a motorului $\beta = P/P_n$), se poate aproxima puterea reactivă a unui motor asincron ca fiind constantă şi independentă de sarcină, în timp ce puterea activă depinde de sarcina motorului. Se menționează, de asemenea, că puterea activă a motoarelor rămâne practic constantă la abateri mici ale tensiunii față de tensiunea nominală, pe când puterea reactivă depinde esențial de variația tensiunii. *Funcționarea motoarelor asincrone* cu un factor de încărcare $\beta < 1$ datorită exploatării tehnologice necorespunzătoare, determină reducerea factorului de putere sub valoarea nominală.

Puterea reactivă Q absorbită de motorul asincron la o sarcină oarecare P, se determină din relația [Din81]: $Q = Q_0 + Q_d = Q_n\left[\alpha + (1-\alpha)\beta^2\right] = Q_0 + (Q_n - Q_0)\beta^2$ în care $\alpha = Q_0/Q_n$ este raportul dintre puterea reactivă Q_0 la funcționarea în gol ($\beta = 0$) şi puterea reactivă Q_n absorbită la sarcină nominală ($\beta = 1$); $Q_d = (1-\alpha)\cdot\beta^2 Q_n$ – puterea reactivă de dispersie. Având în vedere definiția factorului de putere în regim sinusoidal, la încărcarea simetrică a rețelei trifazate, rezultă: $\lambda = \cos\varphi = \dfrac{\beta}{\sqrt{\beta^2 + \left[\alpha + (1-\alpha)\beta^2\right]^2 \tan^2\varphi_n}}$. Pentru valori $\beta < 0.5$ reducerea factorului de putere sub valoarea nominală este deosebit de accentuată. Dacă în exploatare, tensiunea de alimentare a motoarelor asincrone creşte,

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

rezultă o creştere a puterii reactive absorbite, cu consecințe nefavorabile asupra factorului de putere – Figura 1a. Acest fapt este datorat creşterii curentului de magnetizare la funcționarea pe curba de magnetizare în zona saturată a acestea. În Figura 1b este orientativ prezentată, dependența puterii reactive absorbite relativ la cea nominală (Q / Q_n) de motoare asincrone de mică şi mare putere în funcție de valoarea relativă a tensiunii de alimentare pentru diferite valori ale factorului de încărcare [Com83].

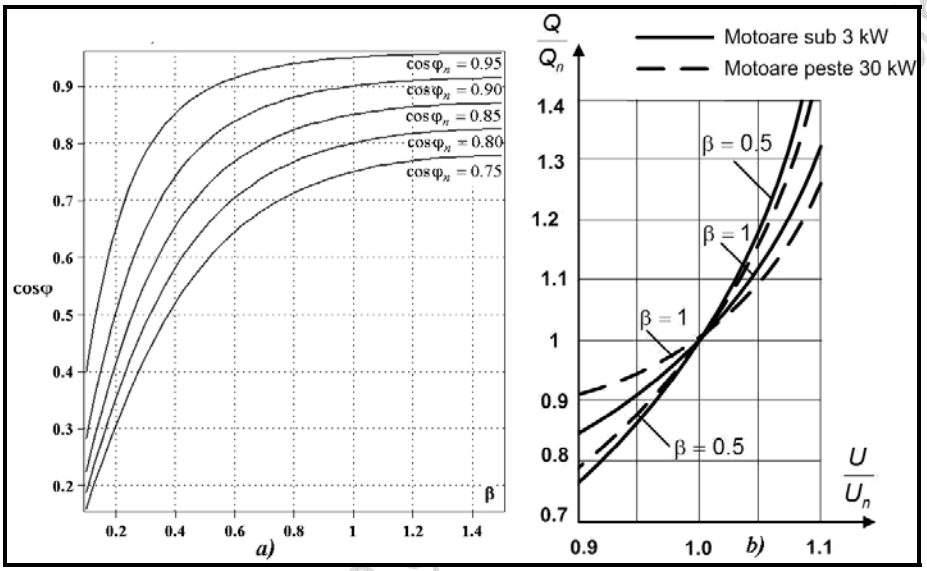


Figura 1. Variația factorului de putere funcție de încărcarea motorului asincron şi consumul de putere reactivă al motoarelor de mică şi mare putere în funcție de valoarea relativă a tensiunii de alimentare.

B) La ***transformatoare*** puterea reactivă absorbită este calculată cu ajutorul de relației [Din81]: $Q = Q_0 + Q_d = \frac{S_n}{100} \cdot \left(i_0 + k_f \cdot \beta^2 \cdot u_{sc}\right)$, în care S_n este puterea aparentă nominală, i_0 – curentul de funcționare în gol (exprimat în procente din curentul nominal), k_f – factorul de formă al curbei de sarcină (definit ca raportul dintre valoarea medie pătratică şi valoarea medie, ale curentului de sarcină, calculate pentru un anumit interval de timp), $\beta = S/S_n$ – factorul de încărcare al transformatorului, u_{sc} – tensiunea de scurtcircuit a transformatorului (exprimată în procente).

Ca şi în cazul motoarelor asincrone, funcționarea transformatoarelor la o putere medie sub cea nominală determină reducerea factorului de putere. În

condițiile reale de exploatare puterea reactivă totală a transformatoarelor poate fi evaluată la 10 % din puterea nominală (8 % puterea de mers in gol şi 2 % puterea de dispersie).

C) Instalațiile ***cuptoarelor electrice*** (cu arc sau cu inducție) consumă putere reactivă din transformatorul de alimentare a cuptorului, autotransformatorul reglabil al cuptorului şi circuitul de alimentare a cuptorului de la transformator. Astfel, pentru un cuptor trifazat cu arc, factorul de putere al instalației este, de obicei, suficient de mare (0.8 ÷ 0.9) dar consumul absolut de putere reactivă este mare, raportat la puterea cuptorului (care poate ajunge pentru o la 80 MW pentru o capacitate de 400 t).

D) ***Liniile electrice*** de distribuție pot determina consum de putere reactivă Q_L care poate fi calculat din relația: $Q_L = \omega L I^2$ în care L este inductivitatea echivalentă a liniei, ω – pulsația tensiunii pe linie, iar I – intensitatea curentului electric care parcurge linia. Pe de altă parte, liniile electrice generează putere reactivă Q_C datorită capacității lor C față de pământ: $Q_C = \omega C U^2$. În cazul liniilor electrice, puterea reactivă rezultantă poate avea valori pozitive sau negative în funcție de valorile celor două componente Q_L şi Q_C, prima dependentă de pătratul intensității curentului electric ce parcurge linia şi a doua dependentă de pătratul tensiunii.

E) Instalațiile de ***redresare comandate alimentate prin transformator*** constituie de asemenea o importantă sursă de putere reactivă. Schemele adoptate pentru redresoarele comandate pot duce, de asemenea, la un factor de putere scăzut [Sch01]. În ultima perioadă consumatorii care conțin circuite electronice de putere reprezintă, datorită răspândirii acestora pe scară foarte largă, principala sursă de putere deformantă din instalații. Prin urmare, acest lucru contribuie la diminuarea factorului de putere a întregii instalații în care sunt montate aceste receptoare.

F) O contribuție la circulația de putere reactivă revine şi ***lămpilor cu descărcare electrică*** în vapori metalici care funcționează în scheme cu balast inductiv necompensate.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

4.2 Sursele de putere reactivă

Cele mai utilizate surse de putere reactivă ale consumatorilor industriali sunt motoarele sincrone existente în instalație şi bateriile de condensatoare instalate special în acest scop.

Motoarele sincrone supraexcitate, funcționând cu factor de putere capacitiv, pot genera o putere reactivă maximă: $Q_m = \alpha_m P_n tg\varphi_n / \eta_n$, determinată de mărimile nominale ale motorului (puterea P_n, factorul de putere $\cos\varphi_n$ şi randamentul η_n) şi de încărcarea maximă cu putere reactivă, exprimată prin factorul α_m care depinde de tipul motorului, de încărcarea cu puterea activă (β) şi de tensiunea relativă la borne U/U_n (pentru $\cos\varphi_n = 0.9$ capacitiv: $\beta = 0.9 \rightarrow \alpha_m = 0.9 \div 1.16$); $\beta = 0.7 \rightarrow \alpha_m = 1.15 \div 1.36$.

Condensatoarele derivație furnizează o putere reactivă Q_c funcție de capacitatea C a condensatorului şi de tensiunea U_C la bornele acestuia: $Q_C = \omega C U_C^2$.

5. Serviciul de evaluare a efectelor circulaţiei de putere reactivă

Consumul ridicat şi nerațional de putere reactivă, care generează un factor de putere redus, prezintă o serie de dezavantaje pentru instalația electrică, dintre care menționăm [Com79]: creşterea pierderilor de putere activă în elementele pasive ale instalației, majorarea pierderilor de tensiune, supradimensionarea instalației şi diminuarea capacității ei de transfer a energiei electrice.

a) ***Pierderile de putere*** în conductoarele instalației, de rezistență R sunt date de relația: $\Delta P = 3RI^2 = \frac{R}{U^2}S^2 = \frac{RP^2}{U^2\lambda^2}$. Se observă că acestea variază invers proporțional cu pătratul factorului de putere la P = ct. şi U = ct. Astfel, dacă aceeaşi putere activă P este transportată sub factori de putere diferiți $\lambda_1 < \lambda_2$, atunci pierderile de putere ΔP_1 şi ΔP_2 sunt interdependente conform relației: $\Delta P_2 = \Delta P_1 \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2$ de unde rezultă că prin îmbunătățirea factorului de

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

putere se obține diminuarea pierderilor de putere.

Pierderile de putere ΔP_a şi ΔP_{rd} cauzate de circulația puterilor active, respectiv reactive şi deformante au expresii ce rezultă din: $\Delta P = \frac{R}{U^2} \cdot \left(P^2 + Q^2 + D^2\right) = \Delta P_a + \Delta P_r + \Delta P_d$, în care S – puterea aparentă absorbită, Q – puterea reactivă care circulă pe linie, D – puterea deformantă pe linie. Se poate observa că termenul $\Delta P_r + \Delta P_d = \Delta P - \Delta P_a = \frac{RP^2}{U^2}\left(\frac{1}{\lambda^2} - 1\right)$ creşte rapid cu scăderea factorului de putere.

b) ***Modificarea căderilor de tensiune***. În cazul unui factor de putere inductiv, în regim sinusoidal, are loc reducerea tensiunii pe barele de alimentare, iar în cazul unui factor de putere capacitiv are loc creşterea tensiunii în instalație. În regim sinusoidal, pentru un factor de putere inductiv, căderea de tensiune longitudinală $\Delta U \cong U_1 - U_2$ este dată de relația: $\Delta U = RI\cos\varphi + XI\sin\varphi = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U_2} = \Delta U_a + \Delta U_r$, în care U_1 este tensiunea pe fază la bornele sursei de alimentare, U_2 – tensiunea pe fază la barele de alimentare, R şi X – rezistența electrică şi, respectiv, reactanța liniei care leagă sursa de receptor, P şi Q – puterea activă şi, respectiv, reactivă transportată pe o fază a liniei electrice, iar ΔU_a şi ΔU_r – căderile de tensiune determinate de circulația de putere activă şi, respectiv, reactivă. Prin urmare rezultă că pentru $Q = 0$, adică în lipsa unei circulații de putere reactivă, se obține: $\Delta U = \Delta U_{\min} = \Delta U_a$.

Dacă factorul de putere este capacitiv, efectul este, de asemenea, nefavorabil, deoarece pentru valori ale acestuia sub 0.8÷0.9 tensiunea la bornele receptoarelor poate ajunge mult mai mare decât tensiunea de la sursă. Această situație, dezavantajoasă în exploatare, măreşte domeniul de variație al tensiunii la bornele receptoarelor. Pentru sarcini capacitive este posibil ca, într-un caz particular, să rezulte: $\Delta U = \Delta U_{\min} = \Delta U_a$, adică transportul energiei electrice să se realizeze fără cădere de tensiune. Dacă $Q > R \cdot P / X$, căderea de tensiune devine negativă, iar $U_2 > U_1$.

Pentru asigura menținerea tensiunii la valori normale, sunt necesare transformatoare cu prize de reglaj (eventual, cu reglaj sub sarcină), iar

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

pentru furnizarea puterii active cerute trebuie instalate noi capacități în centrale şi noi linii de transport.

c) ***Diminuarea capacității de încărcare cu putere activă a instalației*** datorită factorului de putere redus. Astfel, la aceeaşi putere aparentă S_n corespund mai multe puteri active $P_1 = S_n\lambda_1$, $P_2 = S_n\lambda_2$ funcție de valoarea factorului de putere. Dacă $\lambda_2 < \lambda_1$ vom avea: $P_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}P_1$ de unde rezultă reducerea puterii active $P_2 < P_1$ prin creşterea consumului de putere reactivă.

d) ***Supradimensionarea instalațiilor electrice*** (necesitatea unor investiții suplimentare) care funcționează la un factor de putere scăzut se explică prin aceea că conductele de energie (linia electrică) se dimensionează la pierderea de tensiune admisibilă şi se verifică la încălzire în regim de durată. Astfel, dacă avem în vedere expresia pierderilor de tensiune admisibile (în regim sinusoidal) $\Delta U_{ad} = \Delta U_a + \Delta U_r$, a căror mărime este normalizată [Nor02], atunci la P şi Q dați rezultă $\Delta U_r = X \cdot Q / U_n = ct.$, ceea ce conduce la: $\Delta U_a = \Delta U_{ad} - \Delta U_r = \rho \frac{L}{s}\frac{P}{U_n} = ct.\ sau\ s = \rho \frac{L}{\Delta U_a}\frac{P}{U_n}$, unde: L -lungimea liniei; s – secțiunea conductorului de fază; ρ - rezistivitatea materialului conductor; P – puterea activă vehiculată.

Pentru o putere activă dată, investițiile în sursele de energie electrică sunt invers proporționale cu pătratul factorului de putere, iar puterea aparentă instalată variază invers proporțional cu factorul de putere.

În plus, în cazul circuitelor de tensiune alternativă având factor de putere redus, din cauza inductivității echivalente mari, constantele de timp ale proceselor tranzitorii electrice, au valori mai ridicate şi deci ***curenții de scurtcircuit ating valoarea permanentă după un timp mai mare***. Ca urmare, dimensionarea aparatelor electrice şi, în special, curentul de rupere al întreruptoarelor, trebuie făcute corespunzător pentru durate mai mari, ceea ce implică investiții suplimentare.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

6. Principalele soluţii propuse de serviciul management eficient a circulaţiei de putere reactivă şi de creştere a factorului de putere

Analiza cauzelor consumului mare şi nerațional de putere reactivă în cadrul unei instalații electrice scoate în evidență faptul că factorul de putere mediu al acesteia, chiar în condiții de funcționare nominale, se găseşte sub valoarea factorului de putere neutral. În plus, datorită condițiilor reale de exploatare, acesta prezintă o scădere şi mai pronunțată. Sintetizând, putem aprecia că valoarea redusă a factorului de putere se datorează unei cereri importante de putere reactivă a consumatorilor şi/sau distorsiunii semnificative a formelor de undă pentru tensiune şi curentul absorbit. Rezultă că îmbunătățirea factorului de putere trebuie să vizeze în mod concomitent două aspecte [Hof03, Goi11]:

- Reducerea puterii reactive consumate (compensarea acesteia)
- Limitarea regimului deformant (nesinusoidal)

Corespunzător, mijloacele de îmbunătățire a factorului de putere se grupează în *mijloace naturale* şi *mijloace speciale*. Mijloacele naturale țin de alegerea şi exploatarea corectă şi rațională a utilajelor existente în instalații şi constau în măsuri tehnico-organizatorice iar cele speciale presupun montarea în instalație a unor echipamente generatoare de putere reactivă şi/sau de limitarea a regimului deformant.

Prin urmare, îmbunătățirea factorului de putere include, într-o primă etapă, operații de reducere a încărcării armonice a formelor de undă pentru tensiune şi curentul absorbit şi, într-o a doua etapă, limitarea circulației de putere reactivă.

Orice metodă dedicată reducerii puterii reactive absorbite de un utilizator este eficientă ***numai*** dacă tensiunea de alimentare este practic sinusoidală. Conectarea unei baterii de condensatoare la barele de joasă tensiune din secundarul unui transformator, la care tensiunea nu este sinusoidală va duce la amplificarea regimului deformant, reducerea factorului de putere şi poate determina distrugerea bateriei datorită supratensiunilor generate de armonicele superioare.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

Aceste măsuri trebuie să determine funcționarea receptoarelor cu un factor de putere în exploatare la valori cât mai apropiate de cea nominală şi în final să ducă la creşterea factorului de putere mediu ponderat cel puțin până la valoarea factorului de putere neutral.

6.1 Mijloacele naturale de limitare a regimului deformant

Cele mai importante metode destinate reducerii spectrului armonic al curenților absorbiți din instalațiile electrice sunt:

- Reducerea tensiunii de alimentare la bornele echipamentelor cu circuite magnetice cu miez de fier pentru a evita funcționarea în zona neliniară a caracteristicii magnetice

- Utilizarea redresoarelor cu număr mai mare de pulsuri pentru eliminarea armonicilor de rang redus, caracterizate de amplitudinea relativ ridicată

- Agregarea (gruparea) receptoarelor liniare pe un circuit special de alimentare, astfel încât o parte dintre armonice să se închidă între receptoare, fără a ajunge în circuitul de alimentare.

- Utilizarea de transformatoare cu conexiunea triunghi-stea pentru eliminarea armonicilor de rag multiplu de 3 (cele mai întâlnite în instalații)

- Alte mijloace care țin în mod implicit de topologia instalației electrice investigate

6.2 Mijloacele naturale de reducere a circulaţiei neraţională a puterii reactive

a) ***Înlocuirea transformatoarelor slab încărcate*** având în vedere că acestea funcționează cu valori reduse ale factorului de putere . Din Figura 2 se observă faptul că transformatoarele slab încărcate ($\beta = S/S_n < 0{,}5$ cu S – puterea aparentă a transformatorului, S_n – puterea sa normată) determină reducerea substanțială a factorului de putere $\lambda_1 = \cos\varphi_1$ din primar în raport cu factorul de putere $\lambda_2 = \cos\varphi_2$ din secundarul acestuia. Se recomandă înlocuirea transformatoarelor care lucrează în mod constant sub 50% din puterea lor nominală.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

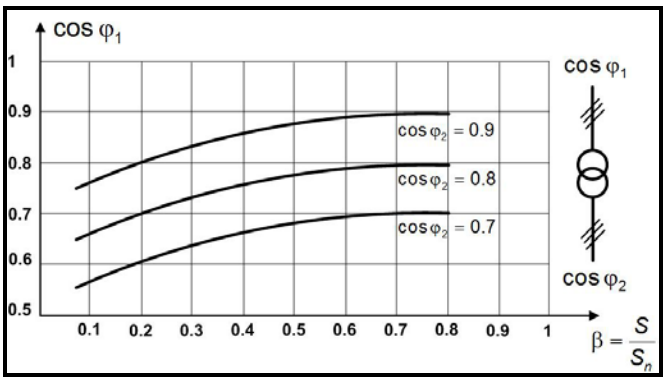


Figura 2. Variația factorului de putere cosφ$_1$ la intrarea în transformator în funcție de gradul de încărcare β pentru diferite valori ale factorului de putere cosφ$_2$ al sarcinii.

b) La transformatoarelor ***trifazate ce funcționează în paralel,*** se poate stabili un ***grafic de conectare*** al acestora astfel încât să se obțină un minim pentru pierderile totale de putere: $\Delta P_t = \Delta P_{Fe} + \beta^2 \Delta P_{Cu} = a + bS^2$ cu: $\Delta P_{Fe} = \Delta P_0 + k_Q \cdot \Delta Q_0 = \Delta P_0 + k_Q \cdot i_0 \cdot S_n$ - pierderi de putere la funcționarea în gol a transformatorului; $\Delta P_{Cu} = \Delta P_{sc} + k_Q \cdot \Delta Q_{sc} = \Delta P_{sc} + k_Q \cdot u_{sc} \cdot S_n$ - pierderi de putere la funcționarea în sarcină nominală a transformatorului; ΔP_0, ΔQ_0 - pierderi de putere activă/reactivă la mersul în gol; ΔP_{sc}, ΔQ_{sc} - pierderi de putere activă/reactivă la scurtcircuit; k_Q [kW/kVAr] - *echivalentul energetic al puterii reactive* [Com79, Bal81] definit ca puterea activă necesară transportului unei unități de putere reactivă de la sursă până la punctul de utilizare, iar $a = \Delta P_{Fe}$ $b = \Delta P_{Cu} / S_n^2$ - notații de calcul;

Conectarea respectiv deconectarea transformatoarelor se face conform graficului de pierderi minime totale care, pentru două transformatoare de puteri diferite are forma din Figura 3. Determinarea puterii aparente *S* de la care se deconectează un transformator şi se conectează celălalt se poate stabili analitic sau pe cale grafică.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

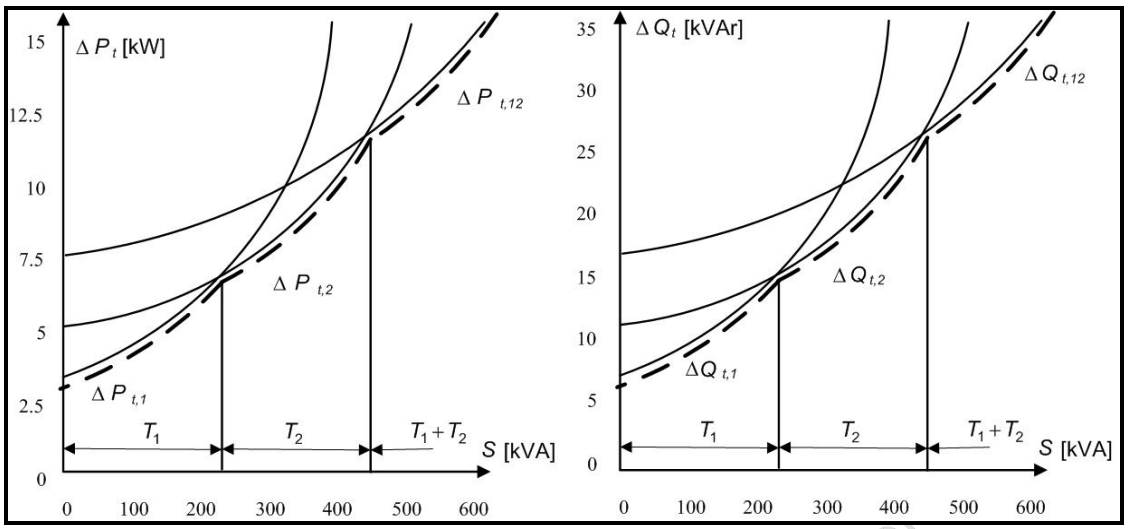


Figura 3. Graficul de pierderi minime totale active $\Delta P_t = f(S)$ şi reactive $\Delta Q_t = f(S)$**.**

Dacă $S_{n1} < S_{n2}$ sunt puterile nominale ale transformatoarelor T_1 si T_2, atunci pierderile de putere la funcționarea individuală ($\Delta P_{t,1}$, respectiv $\Delta P_{t,2}$) sau în paralel ($\Delta P_{t,12}$) vor fi: $\Delta P_{t,1} = a_1 + b_1 S^2$, $\Delta P_{t,2} = a_2 + b_2 S^2$ şi $\Delta P_{t,12} = a_{12} + b_{12} S^2$. Sarcina S de la care trebuie deconectat T_1 şi conectat T_2 respectiv funcționarea în paralel T_1 şi T_2, $S \geq \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}}$ pentru $\Delta P_{t,1} \geq \Delta P_{t,2}$ şi $S \geq \sqrt{\frac{a_{12} - a_2}{b_2 - b_{12}}}$ pentru $\Delta P_{t,2} \geq \Delta P_{t,12}$. Graficul de pierderi minime din Figura 3 include şi curbele de variație ale pierderilor reactive totale: $\Delta Q_t = \Delta Q_o + \frac{S^2 \Delta Q_{sc}}{S^2_n}$.

c) ***Înlocuirea motoarelor electrice supradimensionate*** se recomandă atunci când: nu apar suprasarcini de durată în timpul funcționării, reducerea puterii nu afectează randamentul energetic al utilajului prin creşterea excesivă a pierderilor în noul motor, există condiții de montaj corespunzătoare. Schimbarea motorului este rentabilă dacă rezultă o reducere de putere activă în noul motor şi în sistemul electroenergetic, iar cheltuielile ocazionate de înlocuire se amortizează în câțiva ani [Din83].

În practică, motoarele cu $\beta \leq 0{,}45$ se înlocuiesc fără nici un calcul economic, cele cu $\beta \geq 0{,}7$ sau care funcționează sub 1500 ore/an nu se

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor

înlocuiesc, iar pentru cele cu β = 0,45÷0,7 se impune un calcul tehnico-economic pe baza căruia se ia decizia de înlocuire sau nu.

d) ***Alimentarea cu tensiune redusă a motoarelor asincrone subîncărcate*** reduce fluxul magnetic al motoarelor asincrone ca urmare, are loc reducerea curentului de magnetizare şi, deci, creşterea factorului de putere. În Figura 4, pentru diferite valori ale factorului de încărcare β ($\beta_1 > \beta_2 > \beta_3$), este indicată valoarea factorului de putere în funcție de tensiunea aplicată. Se constată faptul că, la valori reduse ale factorului de încărcare β (de exemplu β_3) se obțin valori ridicate ale factorului de putere pentru valori reduse ale tensiunii de alimentare. Pe de altă parte, rezultă o scădere a momentului cuplului motor, aproximativ proporțională cu pătratul tensiunii.

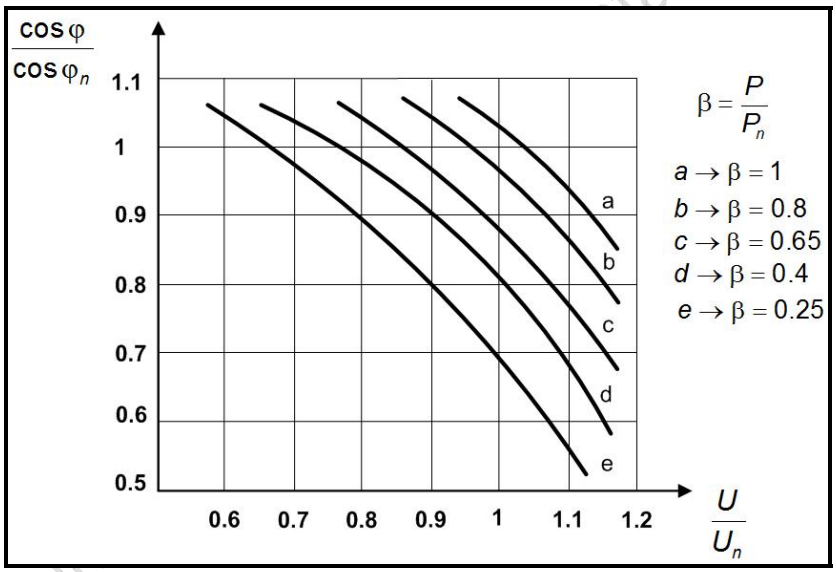


Figura 4. Influența reducerii tensiunii de alimentare a motoarelor asincrone şi a gradului de încărcare

β asupra factorului de putere λ**.**

Soluția practică constă în comutarea conexiunilor înfăşurărilor statorice din triunghi (Δ) în stea (Y), numai dacă varianta constructivă de maşină permite acest lucru (cazul motoarelor cu pornire stea-triunghi manuală sau automată). Prin această metodă tensiunea aplicată înfăşurării se reduce de $\sqrt{3}$ ori, ceea ce conduce la scăderea curentului de magnetizare şi, implicit, a puterii reactive. Funcționarea în conexiunea stea va fi stabilă dacă valoarea

cuplului rezistent pe arbore este de cel mult $0{,}44M_{n\Delta}$, altfel maşina se supraîncălzeşte.

Dacă avem în vedere proporționalitățile dintre cuplurile de desprindere M_d şi cele nominale M_n pentru cele două conexiuni $M_{d\Delta} \cong 2M_{n\Delta}$, $M_{d\,Y} \cong 2M_{n\,Y} = \frac{2}{3}M_{n\Delta}$ atunci, rezultă pentru cuplul maxim pe arbore la conexiunea stea valoarea: $M_{\max} \le \frac{M_{d\,Y}}{1{,}5} = \frac{2}{4{,}5}M_{n\Delta} \cong 0{,}44M_{n\Delta}$ pentru un coeficient de siguranță de 1.5.

Randamentul electric η la o încărcare β al motorului de acționare poate fi scris în forma [Ioa04]: $\eta = \frac{P_s}{P_c} = \frac{P_s}{P_s + p_0 + \beta^2 p_{vn}} = \frac{\beta P_n}{\beta P_n + p_{vn}\left(\gamma + \beta^2\right)} = \frac{\beta}{\beta + \chi\left(\gamma + \beta^2\right)}$

unde p_0 – pierderile de mers în gol ale motorului, constante la o conexiune dată; p_{vn} – pierderile variabile ale motorului la sarcină nominală; $p_n = p_0 + p_{vn} = (1 - \eta_n)P_n / \eta_n$ - pierderile nominale de putere; $\gamma = p_0 / p_{vn}$ - raportul pierderilor constante şi variabile; $\chi = \frac{1 - \eta_n}{(1+\gamma)\cdot \eta_n}$ - constantă de calcul pentru o conexiune dată a înfăşurărilor.

Randamentul şi factorul de putere pentru un motor care lucrează în conexiunea stea sau triunghi a înfăşurărilor statorice prezintă valori diferite, în zona încărcărilor reduse. Utilizarea conexiunii stea la $\beta \le 0{,}5$ este performantă prin scăderea pierderilor în circuitul magnetic- Figura 5.

Raportul randamentelor $A = \eta_Y / \eta_\Delta$ şi factorilor de putere $B = \cos\varphi_Y / \cos\varphi_\Delta$ pentru celor două conexiuni este supraunitar în domeniul $\beta \le 0{,}5$ şi care se recomandă pentru conexiunea stea. Funcția $B = \cos\varphi_Y / \cos\varphi_\Delta$ este descrisă cu suficientă aproximație de relația [Ioa04] : $B \cong (3{,}7 - 2{,}66\cdot\beta)\cdot(1{,}35 - \cos\varphi_n)$, dedusă pe baza determinărilor experimentale - Figura 5.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

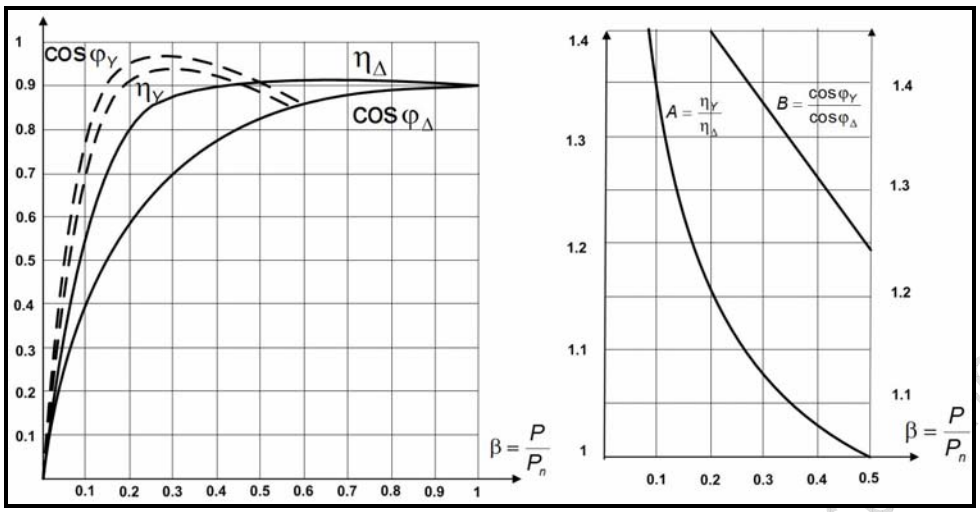


Figura 5. Curbele η = *f*(β) şi cosφ = *f*(β) pentru conexiunile stea şi triunghi ale înfăşurărilor statorice precum şi curbele *A* = *f*(β) şi *B* = *f*(β) pentru motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit**.**

Această metodă se poate aplica motoarelor al căror regim de lucru cuprinde perioade relativ lungi de funcționare la sarcină redusă, în general sub 30% din sarcina nominală.

e) ***Înlocuirea motoarelor asincrone cu motoare sincrone şi utilizarea capacității de compensare a acestora*** Motoarele sincrone sunt utilizate la acționările de putere mare, peste 100 kW, la care nu este necesară modificarea vitezei de rotație (compresoare, malaxoare, ventilatoare etc.). Motoarele sincrone de execuție normală pot fi supraexcitate la sarcina nominală astfel ca funcționarea lor să corespundă unui factor de putere capacitiv λ = 0,8. Motoarele asincrone compensate individual cu condensatoare derivație pot fi înlocuite numai pe baza unei justificări tehnico-economice [Com79].

f) ***Reducerea duratelor de funcționare în gol*** prin deconectarea automată de la sursa de alimentare a motoarelor asincrone şi transformatoarelor în perioada de repaus netehnologic a maşinilor de lucru, dacă aceasta depăşeşte, de exemplu, 30 s. Prin acest procedeu se elimină, pe de o parte, pierderile de putere activă corespunzătoare regimului de funcționare în gol al echipamentelor electrice, iar, pe de altă parte, se

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

înlătură consumul relativ ridicat de putere reactivă, care, la funcționarea în gol, reprezintă 70÷80% din puterea reactivă consumată la sarcină nominală.

g) ***Execuția corectă a reparațiilor motoarelor asincrone şi transformatoarelor*** prin respectarea numărului de spire şi a dimensiunilor întrefierului menținând astfel maşinile electrice în parametrii constructivi inițiali.

6.3 Principalele soluţii utilizate în de serviciul de îmbunătăţirea factorului de putere

În scopul creşterii factorului de putere până la valoarea neutrală, după ce au fost epuizate toate măsurile tehnico-organizatorice, se iau în considerare mijloacele specializate. În această categorie sunt cuprinse atât mijloace clasice: compensatoarele sincrone şi bateriile de condensatoare, cat şi echipamente moderne: filtre active, condiționere de rețea etc.

Compensatoarele sincrone sunt maşini sincrone care funcționează fără cuplu mecanic la arbore, în regim supraexcitat, producând numai energie reactivă. Este posibilă modificarea continuă a puterii reactive prin reglarea valorii curentului de excitație. Se realizează compensatoare sincrone cu puteri nominale de la 200 kVAr la tensiunea de 0,4 kV; 10 MVAr la tensiunea de 6 kV şi ajungând până la puteri de 60 MVAr în rețele de înaltă tensiune. În prezent, compensatoarele sincrone sunt puțin utilizate, funcțiile lor fiind preluate de sistemele statice SVC (*Stativ VAr Compensator*) de control automat al puterii reactive[Gol07, Hof03].

Bateriile de condensatoare se pot realiza într-o gamă largă de puteri (până la zeci de MVAr) şi de variante constructive, fiind posibilă definirea lor în funcție de: tensiunea de racordare (baterii de joasă sau de medie tensiune), modul de conectarea la rețeaua electrică (baterii comutabile manual sau automat, baterii fixe), condițiile de instalare (baterii de interior şi baterii de exterior). Bateriile de condensatoare utilizate în rețeaua de 50 Hz au o serie de avantaje în raport cu compensatoarele sincrone: sunt instalații statice, au gabarit redus, pierderi de putere activă circa 0.003 kW/kVAr (aproximativ de 10 ori mai mici decât compensatoarele sincrone), pot fi instalate în cadrul

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

unor montaje simple, nu necesită întreținere şi supraveghere specială, costul specific este de 3÷5 ori mai mic decât la compensatoarele sincrone. La utilizarea bateriilor de condensatoare apar şi unele dezavantaje: puterea reactivă poate fi modificată numai în trepte, apar supratensiuni la conectare şi deconectare, puterea reactivă disponibilă a bateriei de condensatoare depinde de pătratul tensiunii, nu pot fi utilizate în rețele electrice poluate armonic.

În cazul în care, în rețea, se constată (prin măsurare) *prezența unor armonice superioare* în forma de undă a tensiunii sau a curentului nu mai pot fi folosi bateriile de condensatoare „clasice" ci se vor utiliza cu precădere mijloace care să reducă nivelul de distorsiune sub limitele prevăzute în normative. Există astfel, funcție de parametrii calității energiei măsurați în nodurile rețelei- Figura 6, mai multe soluții funcție de nivelul regimului nesinusoidal:

- Utilizarea unor baterii de condensatoare cu tensiunea nominală crescută cu 10÷15 %;
- Folosirea concomitentă a bateriilor de condensatoare cu tensiunea nominală crescută şi a bobinelor de suprimare armonici;
- Conectarea în paralel cu consumatorul a unui filtru pasiv - realizat numai din elemente pasive inductive şi capacitive;
- Filtre active - alcătuite din dispozitive electronice de putere;
- Filtre hibride – care conțin atât elemente pasive cât şi dispozitive electronice.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

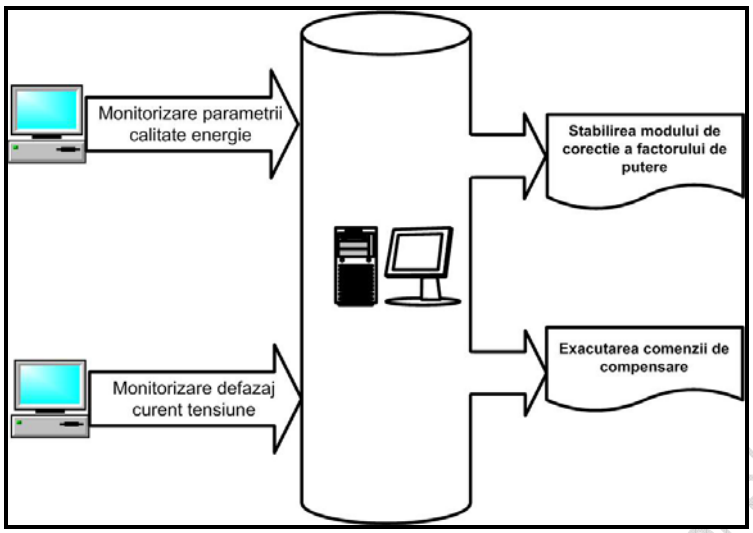


Figura 6. Stabilirea mijloacelor specializate de creştere a factorului de putere funcție bazat pe analiza calității energiei în instalație.

Filtrele active, numite în prezent şi condiționere de rețea (în engleză *active harmonic conditioners AHC*), sunt convertoare statice de putere care pot îndeplini diverse funcțiuni, acestea depinzând, fie de modul lor de comandă (comandate în curent electric sau în tensiune), fie de modul lor de conectare (serie sau paralel). Filtrele pentru corecția factorului de putere reduc regimul deformant injectând în rețea un spectru de armonice identic cu marea majoritate a celor detectate dar antagoniste ca fază astfel încât efectul acestora să se anuleze.

7. Serviciul de selecţie a mijloacelor specializate de limitare a circulaţiei de putere reactivă şi de creştere a factorului de putere

Pentru selectarea sistemului de corecție al factorului de putere într-o instalație în care sunt prezente armonici superioare în forma de undă a curentului şi a tensiunii, în funcție de datele deținute de utilizator se utilizează următoarele metode [Sch01, Hof03]:

A. ***Metoda ponderii de putere deformantă instalată,*** a cărui principiu este descris în Figura 7, au fost folosite următoarele notații:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

G = suma puterilor aparente ale tuturor dispozitivelor care generează armonici (convertizoare statice, invertoare, variatoare de viteză, etc.) conectate la barele la care este conectată şi bateria de condensatoare. Dacă pentru unele dispozitive se dă puterea activă, la calculul puterii aparente se consideră factorul de putere acoperitor 0.7.

S_n = suma puterilor aparente ale tuturor transformatoarelor de alimentare ale sistemului din care fac parte barele de distribuție.

Metoda de mai sus se poate aplica **numai în cazul unui nivel limitat** de distorsiune armonică a tensiunii (THD_u < 2 %) şi a curentului (THD_i < 30 %).

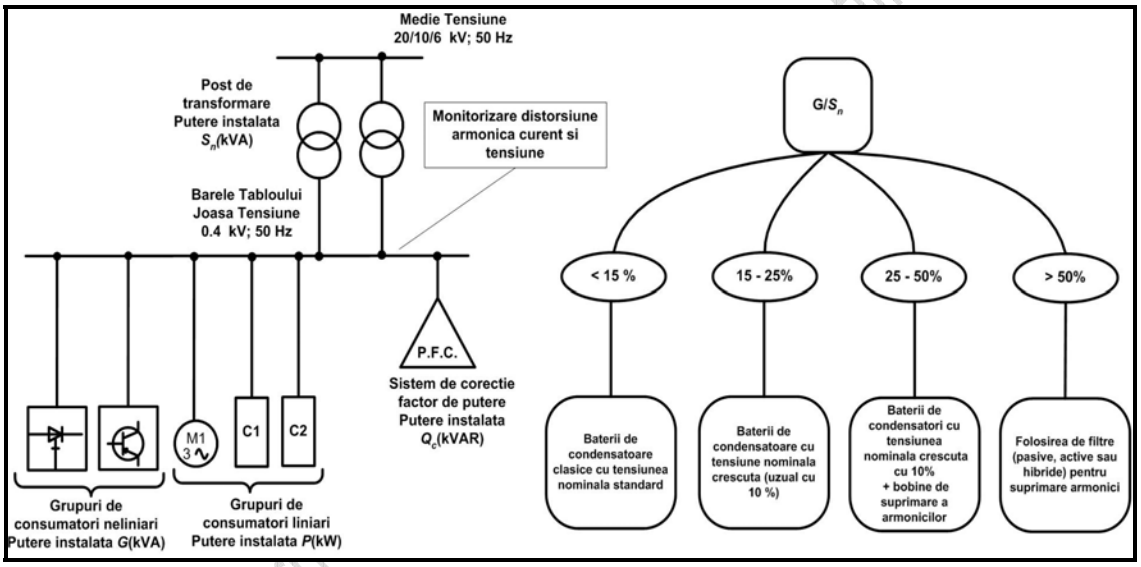


Figura 7. Selecția modalității de compensare a puterii reactive funcție de ponderea receptoarelor neliniare din instalație**.**

B. ***Metoda determinării distorsiunii armonice totale a curentului şi tensiunii***, aplicabilă prin cunoaştere exactă (prin măsurare) a valorilor THD_u respectiv THD_i. Principiul acestei metode este prezentat în Figura 8.

Metodele de selecție indică folosirea (funcție de nivelul de distorsiune armonică) a: bateriilor de condensatoare standard, bateriilor de condensatoare cu tensiunea nominală crescută (uzual cu 10 %), baterii de condensatoare cu tensiunea nominală crescută şi a bobinelor de suprimare

armonici sau a filtrelor (active, pasive sau hibride) de suprimare a armonicilor.

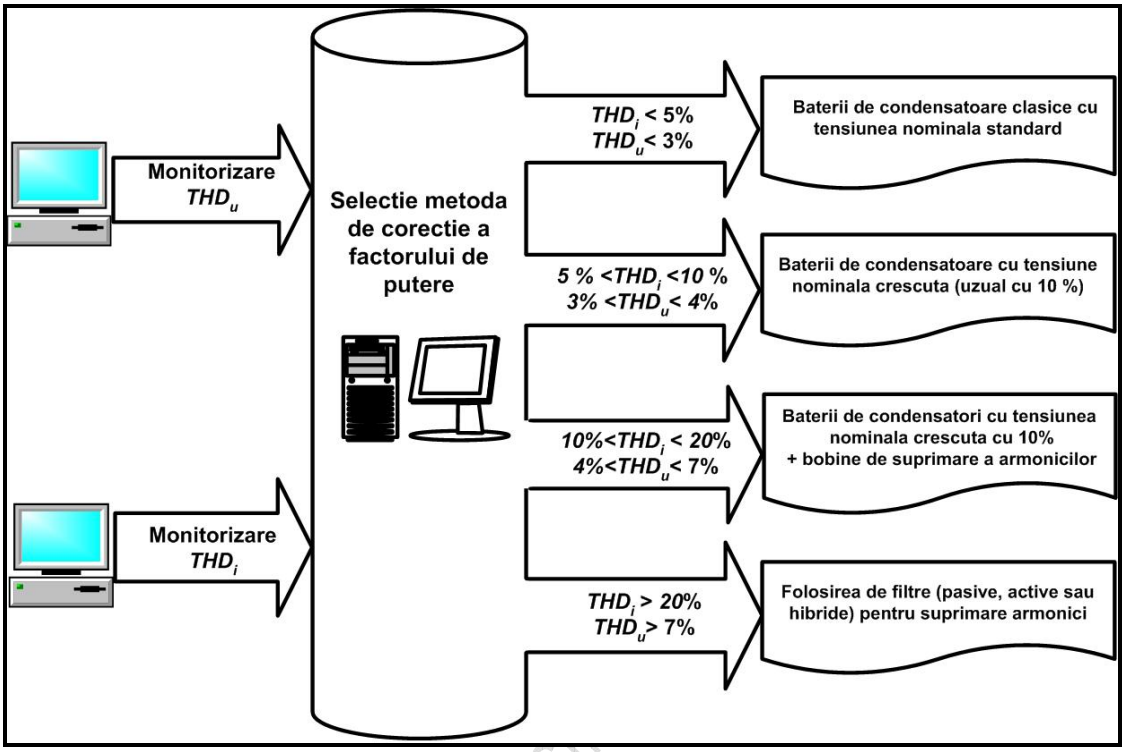


Figura 8. Selecția modalității de compensare a puterii reactive funcție de distorsiunea armonică totală a curentului şi a tensiunii**.**

Trebuie menționat că în condițiile actuale, unde încărcările instalației cu armonici superioare de tensiune sau mai ales de curent sunt din ce în ce mai frecvente, se utilizează soluția (mai ieftină de cât filtrele active) a bateriilor de condensatoare înseriate cu bobine de suprimare a armonicilor principale - Figura 9 numite şi ***bobine de dezacordare*** (în engleză detuned reactors) [Chi89, Abb08]. Puterea reactivă a acestor bobine de dezacordare se alege în mod obişnuit ca un procent, numit ***factor de dezacordare***, de p = 5 %, 7% sau 11 % din puterea reactivă a bateriei de compensare. În acest fel, prin selecția corectă a factorului de dezacordare, bateria evită intrarea în rezonanță pe armonicele dominante din instalație iar la frecvență fundamentală (nominală) funcția de compensare este satisfăcător menținută. În plus, bobinele de dezacordare, ce au o inductivitate de ordinul mH, împreună cu inductivitatea conductoarelor de legătură, limitează curenții de comutație în cazul bateriilor din sistemele automate de corecție a factorului

Sisteme informatice de gest...

de putere. Mai trebuie adăugat că bobinele de dezacordare solicită suplimentar în tensiune condensatoarele: $U_C = U_n/(1-p)$, motiv pentru care acestea trebuie să fie dimensionate la tensiuni cu cel puțin 10 % mai mari decât cele nominale.

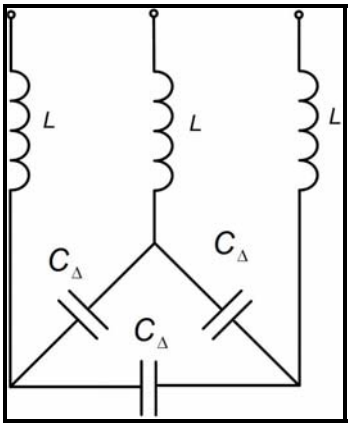


Figura 9. Instalarea bobinelor de dezacordare pentru o baterie de condensatoare montate în triunghi**.**

Reducerea valorii curentului de conectare se face şi prin înserierea unor bobine cu inductivitate foarte mică (câțiva μH). Pentru bateriile de joasă tensiune în care armonicile nu au o pondere considerabilă ($THD_{u,i}$ < 10 %) însuşi cablul de legătură, din care eventual se bobinează câteva spire, realizează o limitare a curentului. Astfel, numai inductivitatea unui cablu de 10 m este suficientă pentru limitarea curentului de conectare a unei baterii de până la 25 kVAR [Din81].

8. Utilizarea bateriilor de condensatoare ca surse de putere reactivă

Se menționează încă de la început că acest mijloc de îmbunătățire al factorului de putere, deşi foarte răspândit, este eficient numai dacă forma de undă a tensiunii şi curentului sunt apropiate de o sinusoidă (ponderea regimului deformant este modestă).

Dispunerea condensatoarelor de joasă tensiune într-o instalație constituie modalitatea de compensare care poate fi [Art10]: *globală* (plasament într-un singur punct pentru întreaga instalație), *sectorială* (grup

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

cu sector), *locală* sau individuală (la fiecare dispozitiv în parte) sau o combinație a ultimelor două. În principiu, compensarea ideală este aplicată la locul de consum şi are nivelul în acord cu valorile instantanee de putere. În practică alegerea este decisă de factori tehnici şi economici – Figura 10.

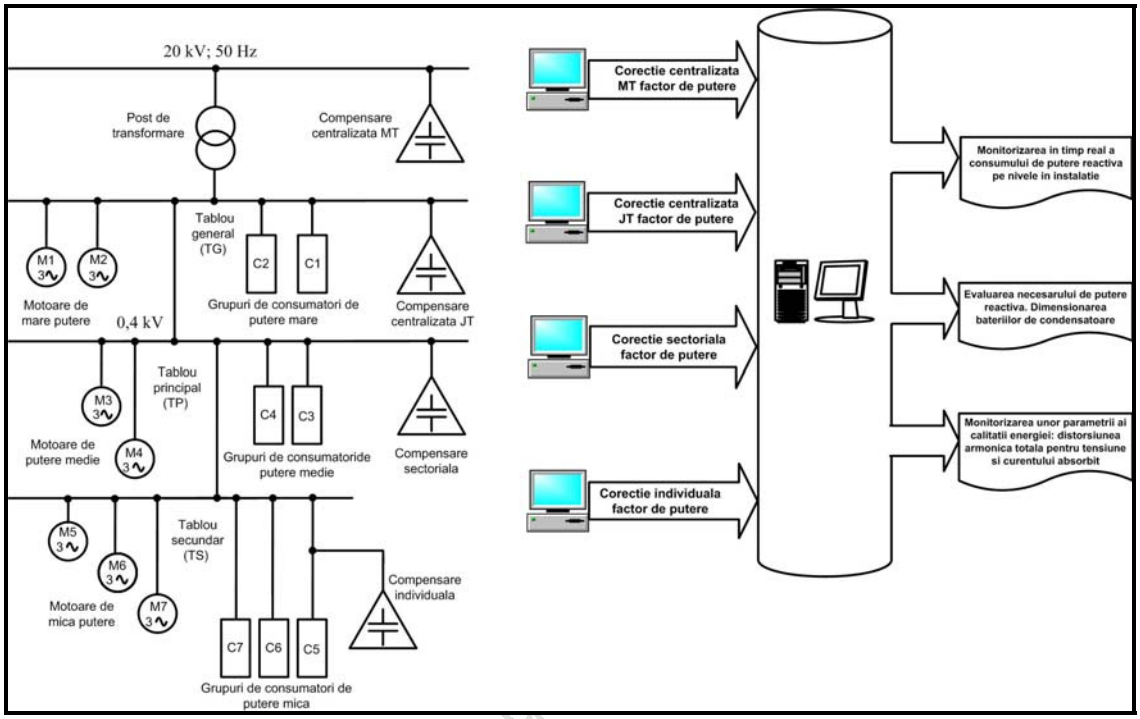


Figura 10. Modalități de plasare a bateriei de condensatoare**.**

Compensarea individuală se aplică, în primul rând, în cazul receptoarelor cu consum mare de putere reactivă (motoare asincrone, transformatoare, cuptoare electrice) şi cu funcționare continuă, asigurând compensarea puterii reactive chiar la locul de consum şi descărcând restul rețelei de circulația puterii reactive, cu toate avantajele care decurg din acest lucru - Figura 11.

La compensarea individuală a *motoarelor asincrone*, bateria de condensatoare este de regulă legată direct la bornele motorului, conectarea şi deconectarea de la rețea realizându-se odată cu motorul, prin acelaşi aparat de comutație. Pentru a evita supracompensarea în cazul subîncărcării şi auto-excitarea în cazul frânării motorului, se compensează uzual circa 90 % din puterea de mers în gol, asigurându-se un factor de putere în jur de 0.9 la încărcare normală şi de circa 0.95 la încărcarea

Sisteme informatice de g

incompletă sau în gol. Puterea reactivă Q_c necesară pentru compensarea motoarelor asincrone trifazate se determină în funcție de curentul de mers în gol al motoarelor I_0 (precizat in datele de catalog ale acestora): $Q_C = Q_0 = 0.9\sqrt{3}U_n I_0$. Pentru motoare cu puteri peste 30 kW se poate alege acoperitor $Q_C \cong 0.35P_n$ [Sch07].

În cazul transformatoarelor de distribuție, bateria de compensare se montează pe partea de joasă tensiune şi de cele mai multe ori este compusă dintr-o treaptă fixă (necesară compensării puterii reactive absorbită în gol) urmată de o treaptă care acoperă necesarul de putere reactivă în sarcină nominală: Dimensionarea bateriei se face după relația: $Q_C \cong Q_0 + Q_d = \frac{i_0[\%]}{100} S_n + \frac{u_{sc}[\%]}{100} S_n \cdot \beta^2$, în care i_0 [%] respectiv u_{sc}[%] reprezintă valorile procentuale pentru curentul de mers în gol şi tensiunea de scurtcircuit a transformatorului (precizate în datele sale de catalog) iar $\beta = S/S_n$ este încărcarea . Uzual se poate considera: $Q_C = (0.1 \div 0.2)S_n + (0.5 \div 0.6)S_n$.

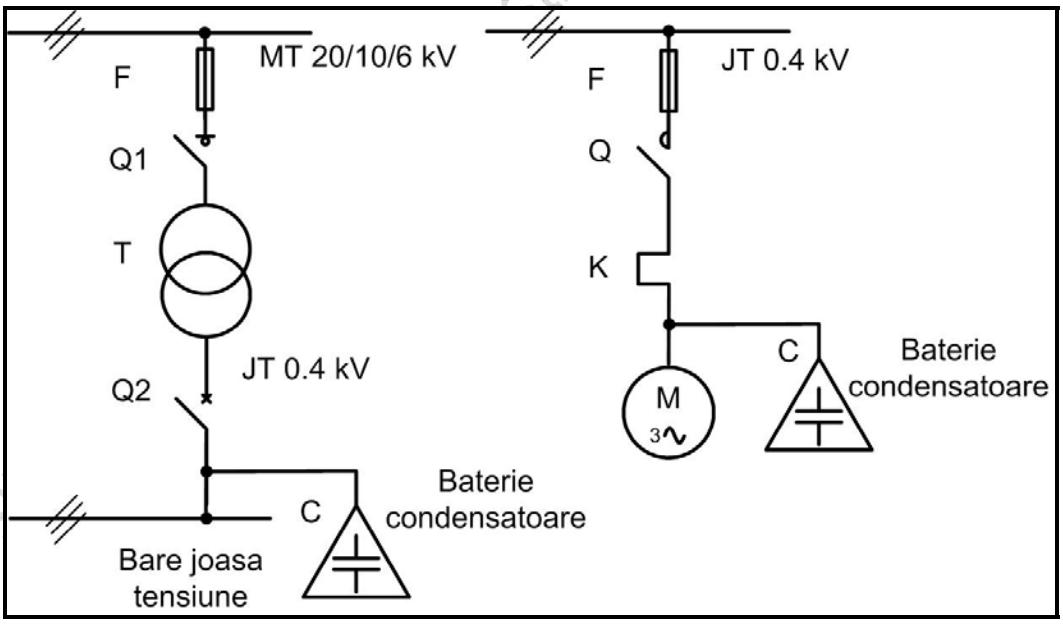


Figura 11. Compensarea individuală pentru transformatoare şi motoare asincrone.

Compensarea individuală se aplică şi *corpurilor de iluminat cu lămpi cu descărcare electrică în vapori metalici*, capacitatea condensatoarelor este menționată de producător funcție de puterea lămpii.

Compensarea pe grupuri de receptoare (sectorială) se aplică atunci când consumatorii de putere reactivă sunt grupați, bateriile de condensatoare racordându-se la barele tablourilor de distribuție aferente grupurilor de receptoare. Puterea bateriei şi modul de funcționare se stabilesc în funcție de curba puterii reactive necompensate a receptoarelor. Acest mod de compensare limitează de asemenea vehicularea puterii reactive în rețeaua din amonte de locul de montare.

Compensarea centralizată se poate realiza prin racordarea bateriei de condensatoare la barele tabloului general de distribuție din postul de transformare. Bateria se execută în trepte cu comutare, de regulă automată, în funcție de puterea reactivă ce trebuie compensată, corespunzător funcționării receptoarelor alimentate. Bateria poate fi conectată şi pe partea de medie tensiune a postului de transformare. La compensarea centralizată, în medie tensiune, efectele tehnice pozitive nu se resimt la instalațiile de joasă tensiune ale consumatorului (în aval de locul de montare). Cu toate acestea, marii consumatori, alimentați direct în medie tensiune, folosesc compensarea centralizată care asigura un factor de putere general peste valoarea factorului de putere neutral astfel încât consumul de energie electrică sa fie facturat numai pentru energia activă.

Compensarea mixtă foloseşte toate procedeele prezentate anterior pentru compensarea puterii reactive. Soluția se aplică în etape sau, atunci când intervin anumite condiții specifice consumatorului respectiv.

8.1 Serviciul de dimensionare a elementelor componente ale bateriei de condensatoare

8.1.1 Evaluarea puterii necesară bateriei

Puterea Q_b a bateriei de condensatoare se determină astfel încât, la o anumită putere activă P dată, absorbită sub un factor de putere $\cos\varphi_1$, să se obțină factorul de putere îmbunătățit $\cos\varphi_2 > \cos\varphi_1$. Puterea reactivă consumată de aceste condensatoare va fi : $Q_b = -3\omega C U_c^2$. Receptorul consumă o putere reactivă înainte de montarea bateriei, $Q_1 = P\,\mathrm{tg}\,\varphi_1$. Puterea solicitată rețelei după montarea condensatoarelor va fi: $Q_2 = Q_1 + Q_b$ de unde:

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

$Q_b = Q_1 - Q_2 = P(\mathrm{tg}\varphi_1 - \mathrm{tg}\varphi_2)$, în care $Q_2 = P\,\mathrm{tg}\varphi_2$ reprezintă puterea reactivă primită din rețea după conectarea bateriei de condensatoare – puterea activă *P* rămâne constantă, iar $\cos\varphi_2$ este noul factor de putere echivalent a cărui realizare se urmăreşte. Prin urmare, valoarea capacității unui condensator din bateria în triunghi va fi: $C = \dfrac{P(\mathrm{tg}\varphi_1 - \mathrm{tg}\varphi_2)}{3\omega U_c^2}$. În Figura 12 sunt prezentate modalitățile de conexiune a condensatoarelor care formează bateria în instalații mono şi trifazate.

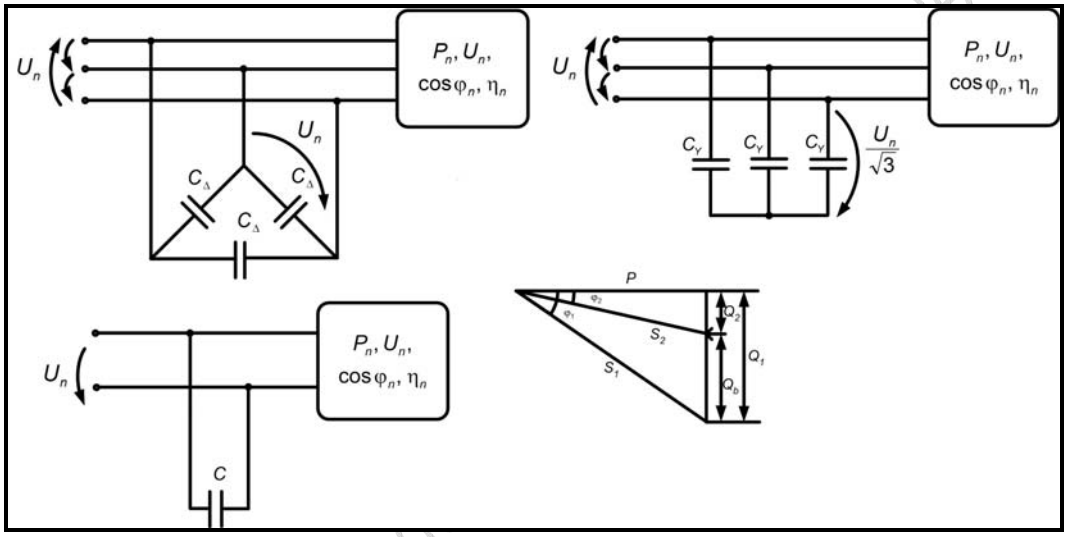


Figura 12. Modalități de conexiune a condensatoarelor din baterie.

Dacă se consideră pierderea de putere ΔP_C în dielectricul condensatoarelor puterea necerară bateriei devine: $Q_b = P \cdot \mathrm{tg}\varphi_1 - (P + \Delta P_C) \cdot \mathrm{tg}\varphi_2 = Q_1 - Q_2$. Pierderile de putere în condensatoare (dependente de tangenta unghiului de pierderi tgδ a materialului după relația: $\Delta P_C = \omega C U^2 \mathrm{tg}\delta$) pot fi considerate (mai ales în joasă tensiune) neglijabile.

Se observă că în cazul conexiunii stea a bateriei ar rezulta condensatoare cu o capacitate de trei ori mai mare, deoarece locul lui U_c ar fi luat de tensiunea $U_f = \dfrac{U_f}{\sqrt{3}}$. Rezultă $\dfrac{C_\Delta}{C_Y} = \left(\dfrac{U_f}{U_l}\right)^2 = \dfrac{1}{3}$ şi, prin urmare, compensarea factorului de putere este o problemă de ordin tehnico-economic, având în vedere faptul că, în joasă tensiune, costul

Sisteme informatice electrice

condensatoarelor este proporțional cu capacitatea lor. Acesta este motivul pentru care este preferată conexiunea în triunghi. Montajul în stea este avantajos în cazul rețelelor de medie tensiune, deoarece tensiunea nominală a condensatoarelor este mai redusă. Se observă că tensiunea maximă la care sunt supuse condensatoarele montate în triunghi este de peste 580 V față de conexiunea stea unde această tensiune este de numai 320 V.

Puterea bateriei de condensatoare este dependentă de variația tensiunii rețelei. Astfel dacă tensiunea rețelei se variază de la U_n la U_{n2} puterea bateriei de condensatoare se modifică de la Q_b la valoarea $Q_{b2} = Q_b\left(\frac{U_{n2}}{U_n}\right)^2$.

8.1.2 Calculul rezistentelor de descărcare ale condensatorilor

Deoarece la deconectarea de la rețea, la trecerea naturală a curentului prin valoarea zero, condensatoarele rămân încărcate la valoarea de vârf a tensiunii rețelei, prezentând pericol de electrocutare, se prevăd rezistente de descărcare R_d, montate în paralel cu condensatoarele. Acestea, asigură, după deconectare, scăderea tensiunii la bornele condensatoarelor la o valoare admisibilă U_a într-un timp de descărcare t_d. Normativele în vigoare [Nor02], impun ca în cel mult un minut de la deconectarea bateriei, tensiunea de la bornele ei să scadă sub 42 V.

Valoarea rezistenței de descărcare se obține din soluția ecuației diferențiale a procesului tranzitoriu de descărcare [Abb08]: $R_d = \frac{t_d}{kC\ln\left(\frac{\sqrt{2}U_n}{U_a}\right)} = \frac{t_d\omega U^2}{kQ_b\ln\left(\frac{\sqrt{2}U_n}{U_a}\right)}$, în care $k = 1\div3$ este o constantă care depinde de modul cum sunt legate rezistențele de descărcare la bornele condensatoarelor. În plus, rezistențele de descărcare trebuie să asigure, la tensiunea nominală a rețelei, un consum minim de putere ($P_{R_d} = U_n^2/R_d$) ce nu depăşeşte 1W/kVAR, întrucât, de regulă, acestea sunt conectate permanent în paralel cu condensatoarele. În rețelele trifazate este recomandată montarea în triunghi a rezistențelor de descărcare ($k = 1$), în vederea asigurării descărcării tuturor condensatoarelor inclusiv la defectarea (întreruperea) unei rezistențe [Din03].

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

La compensarea individuală a motoarelor şi transformatoarelor, descărcarea condensatoarelor se face, de regulă, pe înfăşurările acestora.

8.1.3 Calculul circuitului pentru bateria de condensatoare

Circuitul circuitului bateriei de condensatoare de joasă tensiune cuprinde: cablurile de legătură, aparatele de comutație (contactoarele), aparatele de protecție (siguranța fuzibilă sau întrerupătorul automat şi aparatele de măsură (voltmetre, ampermetre).

Alegerea elementelor de putere se face plecând de la curentul nominal absorbit de bateria de condensatoare [Din03, Sch07]: $I_n = \frac{Q_b}{\sqrt{3}U_n}$. Pentru curenți de valori mari, bateria se poate împărți în mai multe circuite în paralel (trepte sau secții), în care caz curentul nominal de calcul se determină în funcție de puterea reactivă a fiecărui circuit în parte.

Trebuie luat în considerare că în circuit pot apărea suprasarcini, prin creşterea frecvenței rețelei sau datorită conținutului ridicat în armonici al undei de tensiune. De asemenea, trebuie avut în vedere şi curent de vârf foarte mare care apare la conectarea sarcinii capacitive.

Conductoarele de alimentare trebuie dimensionate pentru un curent de calcul $I_c = 1.4 \div 1.5 I_n$ iar contactoarele şi întrerupătoarele se aleg funcție de capacitatea de comutare a puterii reactive, indicată în materialele documentare ale produselor. Releele/declanşatoarele termice şi electromagnetice din circuit se reglează la $I_{rt} = 1.3 I_n$ respectiv $I_m = 8 \div 14 I_n$. Siguranțele fuzibile vor avea curentul nominal al elementului de înlocuire: $I_{nsig} \approx 1.7 I_n$.

Pentru a verifica starea condensatoarelor şi tensiunea de la bornele lor, fiecare circuit al bateriei este prevăzut cu câte un ampermetru e fiecare fază (eventual prin intermediul unui transformator de curent) şi cu un voltmetru, conectat prin intermediul unui comutator voltmetric, care poate măsura tensiunile de linie şi de fază.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

9. Serviciul de control automat al factorului de putere

Curba de variație în timp a consumului de putere reactivă *Q* într-o instalație electrică nu este, în general, una constantă. Necesarul de putere reactivă depinde de modul în care este utilizată energia electrică în diverse procese tehnologice, fapt ilustrat prin variația sarcinii. Puterea reactivă absorbită poate deci varia lent sau foarte rapid în limite foarte largi. Adoptarea în această situație a unor baterii de condensatoare de valoare fixă poate determina regimuri de **supra** sau **sub**compensare. Pentru a evita aceste inconveniente majore, problema este rezolvată prin realizarea bateriei de condensatoare din mai multe secții (trepte) de putere fixă. Fiecare secție este prevăzută cu echipamente de comutație comandate automat, după anumite criterii, de exemplu, în funcție de tensiunea de pe bare, de curentul de sarcină, de sensul schimbului de putere reactivă cu sistemul energetic sau în raport cu timpul de funcționare la diverse sarcini -Figura 13.

Selecția numărului şi a valorii treptelor unei baterii de condensatoare trebuie să aibă în vedere faptul că eficiența reglajului creşte cu numărul de trepte, fiind posibilă urmărirea cât mai fidelă a curbei de sarcină a puterii reactive. Pe de altă parte o fracționare excesivă a bateriei devine la un moment dat neeconomică deoarece necesită utilizarea unei scheme complexe de comutație. Uzual, în joasă tensiune, bateriile de condensatoare utilizează un număr de 4 ÷12 trepte cu puteri între 5 ÷ 25 kVAR [Din81, Abb08].

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice

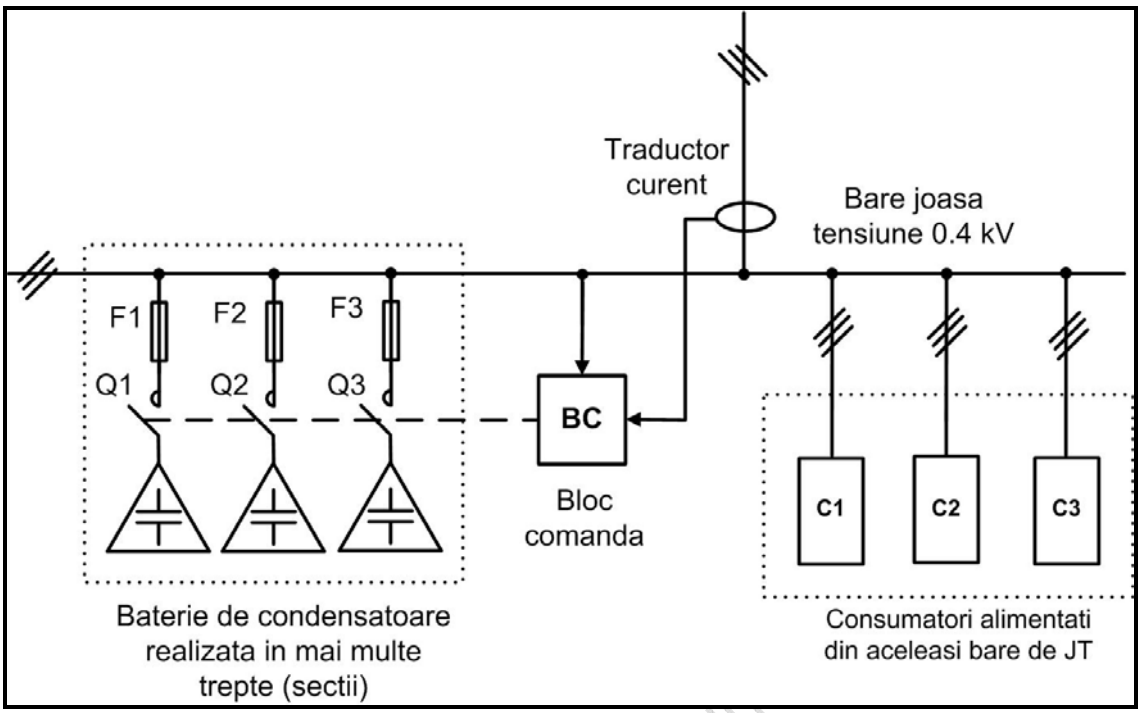


Figura 13. Schema de principiu a unei instalații de control automat al factorului de putere (cosφ).

Pentru schema prezentată în Figura 13, blocul de comandă BC stabileşte valoarea factorului de putere (cosφ) şi cunoscând capacitățile condensatoarelor treptelor bateriei, conectează elementele necesare realizării factorului de putere prescris. Depăşirea valorii prescrise a factorului de putere conduce la deconectarea treptelor bateriei de condensatoare.

Operațiile de comutare în circuitele cu condensatoare determină condițiile pentru apariția de supratensiuni în rețeaua electrică, dar şi posibilitatea apariției unor curenți electrici de amplitudine deosebit de mare care pot solicita într-un mod periculos aparatele de comutație. Astfel, la conectarea primei trepte, vârful de curent electric poate atinge o valoare de 30 ori mai mare decât curentul nominal al condensatorului, pe o durată de 1÷ 2 milisecunde, iar frecvența de oscilație poate fi cuprinsă între 1 şi 15 kHz [Hor00] –Figura 14. Conectarea celorlalte secții, atunci când prima este conectată, este însoțită de un regim tranzitoriu, cuprinzând în principal două etape: într-o primă etapă are loc un proces tranzitoriu cu o frecvență ridicată, între cele două condensatoare, urmat de procesul tranzitoriu, cu o

Sistema informatica de gestiune a in

frecvență mai redusă, între cele două secții şi rețeaua electrică de alimentare. Valoarea de vârf a curentului tranzitoriu poate ajunge până la 160 ori curentul nominal al condensatoarelor.

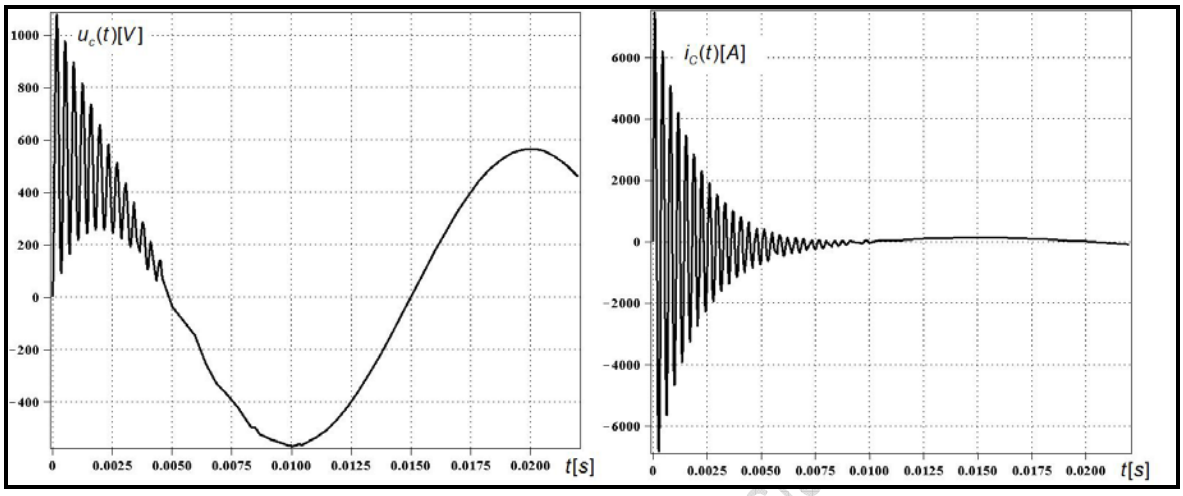


Figura 14. Variația curentului i_c prin contactor şi a tensiunii u_c la bornele bateriei, la conectarea primei secții de condensatoare.

Selecția corespunzătoare a aparatajului care asigură deconectarea secțiilor bateriei de condensatoare poate evita apariția de importante supratensiuni în procesele de deconectare. În general, contactoarele obişnuite, utilizate în circuitele de putere, nu sunt adecvate operațiilor de comutare a secțiilor bateriilor de condensatoare. În funcție de tipul circuitului sunt utilizate comutatoare simple, cu capabilitatea de a rezista unor vârfuri mari de curent electric, sau contactoare cu rezistor de preinserție pentru limitarea vârfurilor de curent electric. În prezent, există contactoare specializate, pentru conectarea condensatoarelor, asigurând curenți de vârf (o perioadă) până la 12 kA la joasă tensiune cu 1 milion de cicluri de inchidere/ deschidere [Abb08].

Dacă cererea de putere reactivă, impusă de procesul tehnologic, variază foarte rapid (sub două secunde) aparatele cu comutație dinamică (mecanică) nu pot răspunde comenzii primite din blocul de comandă astfel încât corecția factorului de putere nu mai poate fi satisfăcută. În acest caz se folosesc sisteme de compensare a factorului de putere cu comutație statică SVC (*Static VAR Compensator*) ce utilizează condensatoare care se

Sisteme informatice de gestiune a instal

conectează în trepte cu ajutorul unor întrerupătoare electronice, de cele mai multe ori realizate cu ajutorul tiristoarelor de putere TSC (*Thyristor Switched Capacitor*) –Figura 15.

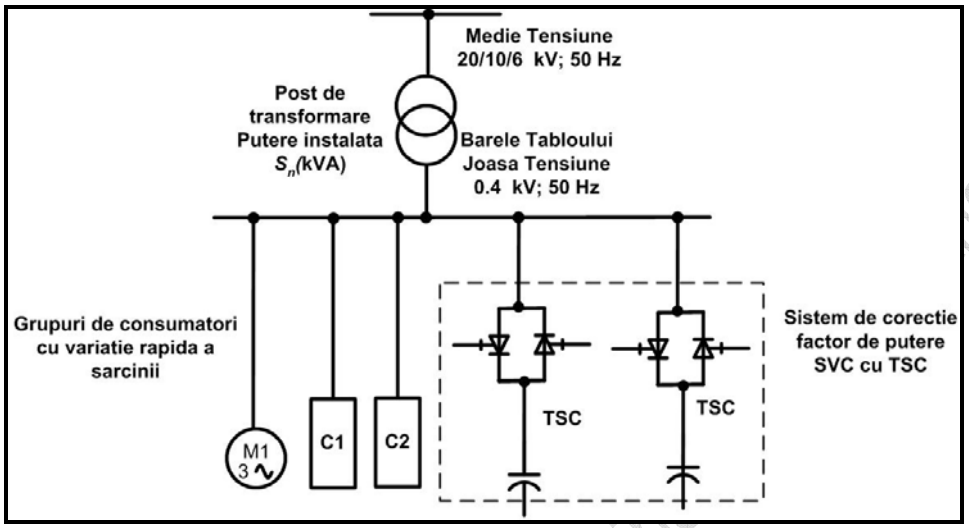


Figura 15. Schema de principiu a unui sistem de compensare cu comutație statică SVC.

Aceste sisteme, deşi au un cost încă foarte ridicat, prezintă o serie de avantaje, fapt care a dus la utilizarea lor pe o scară din ce în ce mai largă: adaptare imediată la fluctuațiile factorului de putere (timp de răspuns 2 s sau 40 ms, în funcție de opțiunile regulatorului), eliminarea fenomenelor tranzitorii din rețea la comutația condensatorilor prin selecția controlată a momentului de comutație, număr practic nelimitat de cicluri închis/deschis şi nu în ultimul rând o funcționare silențioasă.

În concluzie, serviciul de selecție a metodei de îmbunătățire factorului de putere în instalația de joasă tensiune trebuie să ia în considerare atât aspectele tehnice legate privind buna funcționare a rețelei cât şi aspectele economice legare de realizarea investiției în sistemul de compensare şi mai ales durata de recuperare a acestei investiții. În condițiile actuale, o durată de recuperare de un an este considerată acceptabilă.

Bibliografie

[Abb08] ABB, 2008 Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants, Technical Application Paper.

[Art10] Artecno, 2010, Manualul de instalații: Sisteme de iluminat, instalații electrice şi de automatizare, Editura Artecno.

[Bal81] Balaurescu D., Eremia M., 1981 Îmbunătățirea factorului de putere, Editura Tehnică, Bucureşti.

[Chi89] Chiuță I., Conecini I. 1989, Compensarea regimului energetic deformant, Editura Tehnică Bucureşti

[Com79] Comşa D. şi alții., 1979, Proiectarea instalațiilor electrice industriale, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti.

[Com83] Comşa D., Dinculescu P., Şora I. 1983, Utilizări ale energiei electrice şi instalații electrice, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti.

[Din81] Dinculescu P., Sisak F., 1981, Instalații şi echipamente electrice, Editura Didactică şi Pedagogică.

[Din03] Dinculescu P. 2003. Instalații electrice industriale de joasă tensiune, Editura Matrix.

[Goi11] Goia M. şi alții. 2011. Utilizatori de energie electrică alimentați la joasă tensiune, Editura AGIR.

[Gol07] Golovanov, N. şi alții. 2007, Calitatea şi eficiența energiei electrice, Editura AGIR.

[Hof03] Hofmann W., Just W. 2003, Blindstrom-Kompensation in der Betriebspraxis: Ausführung, Energieeinsparung, Oberschwingungen, Spannungsqualität, VDE Verlag, 4., überarb. Auflage.

[Hor00] Hortopan Gh., 2000, Aparate electrice de comutație, vol I+II, Editura Tehnică.

[Ioa04] Ioachim D. şi altii, 2004, Utilizări ale energiei electrice - Aplicații, Editura „Politehnium", Iaşi.

[Nor02] Normativ pentru proiectarea şi executarea instalațiilor electrice cu tensiunii până la 1000 v c.a. şi 1500 V c.c. Indicativ: I 7-02.

[Sch07] Schneider Electric, 2007, Manualul instalațiilor electrice.

[Sch01] Schneider Electric, 2001 Power Quality, Cahier technique no. 199.

Sisteme informatice de gestiune a instalațiilor electrice